

**Кыргызский национальный аграрный университет
им. К.И. Скрябина
Ошский технологический университет им. М. Адышева**

Диссертационный совет Д 05.20.02

На правах рукописи

УДК: 621.472

Кунелбаев Мурат Меркебекович

**Система управления двухконтурной гелиоустановки стермосифонной
циркуляцией**

05.20.02– электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Бишкек 2024

Работа выполнена в Республиканском государственном предприятии на праве хозяйственного ведения Институт информационных и вычислительных технологии Комитета науки Министерство науки высшего образования Республики Казахстан

Научный руководитель: Омаров Рашит Абдыгаровович
доктор технических наук, заведующий лабораторией «Энергосбережение и зеленые технологии» «Научно-производственного центра Агроинженерии» товарищество с ограниченной ответственностью Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан, г. Алматы.

Официальные оппоненты: Исаков Абдусаид Джалилович
доктор технических наук, профессор, декан факультета «Энергетика» Ташкентского института ирригации и механизации сельского хозяйства, г. Ташкент

Сапаков Аскар Заманбекович
кандидат технических наук, ассоциированный профессор кафедры «Энергосбережения и автоматизации» Казахского национального аграрного исследовательского университета, г. Алматы

Ведущая организация: Кыргызский государственный технический университет, кафедра «Электроснабжения», 720044, г. Бишкек, пр. Ч. Айтматова 66

Защита диссертации состоится «27» сентября 2024 года в 14:00 часов на заседании диссертационного совета Д 05.23.682 при Кыргызском национальном аграрном университете им. К.И. Скрябина и Ошском технологическом университете им. М. Адышева по адресу: 720005, г. Бишкек, ул. Медерова, 68. Ссылка для доступа к видеоконференции защиты диссертации: <https://vc.vac.kg/b/051-ipb-gkh-tdu>

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеках Кыргызского национального аграрного университета им. К.И. Скрябина (720005, г. Бишкек, ул. Медерова, 68), www.knau.kg и Ошского технологического университета им. А. Адышева (723503, г. Ош, ул. Исанова, 81) и на сайтах www.oshtu.kg.

Автореферат разослан 26 августа 2024 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета
к.т.н.



Токтоналиев Б.С.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Проблема энергосберегающих технологий актуальна во всем мире и является неременным 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 теплоэнергетических ресурсов.

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 Йоханнесбургского Всемирного саммита 2002 г., которые призывают снизить выбросы продуктов сгорания топлив в атмосферу. Соответственно, в принятых в последние годы РК Государственных программах и нормативно-правовых документах концепция перехода к «Зеленой экономике» – ключевой приоритет.

Актуальность исследований обусловлена наличием крупного резерва энергосбережения в животноводческой отрасли и необходимостью его реализации.

Ввиду этого важнейшей частью проблемы автоматизации 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 в расходе тепловой энергии наиболее высока. 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.

Связь темы диссертации с крупными научными программами (проектами) и основными научно-исследовательскими работами.

Работа выполнена в соответствии с грантом 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».

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

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 экспериментальный образец двухконтурной гелиоустановки, провести его хозяйственные и предварительные испытания.

4. Изготовить автоматизированный контроллер управления гелиосистемы.

5. Выполнить расчеты технико-экономической эффективности, разработанной двухконтурной гелиоустановки.

Научная новизна работы заключается в следующем:

– разработана новая конструкция плоского солнечного коллектора, отличающаяся наличием теплоизоляционного прозрачного стеклопакета 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, благодаря чему обеспечивается повышение КПД установки. Во-вторых – отсутствие дополнительных перегородок между панелью и теплоизоляцией, способствующее увеличению коэффициента 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;

Практическая значимость исследования заключается в возможности применения ее результатов в системах солнечного теплоснабжения. Разработаны новые технические средства для двухконтурной гелиоустановки с термосифонной циркуляцией, такие как двухконтурная гелиоустановка с термосифонной циркуляцией (патент РК №33741), система дистанционного мониторинга солнечного коллектора (патент РК №35112). 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». В 2020 году данная технология внедрена в ТОО «KazMicroD» Енбекшиказахского района Алматинской области.

Экономической значимостью полученных результатов является снижение себестоимости конструкции и оборудования на 30% от внедрения плоских солнечных коллекторов с тепловым насосом в двухконтурную гелиоустановку с термосифонной циркуляцией и составляет 24046,6 тенге в год.

Положения, выносимые на защиту:

1. Предложена схема двухконтурной гелиоустановки с термосифонной циркуляцией, предназначенная для одновременного поглощения солнечной энергии, отличительной особенностью которой является наличие плоского солнечного коллектора, теплового насоса, бак-аккумулятора 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.

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.

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

Публикации соискателя по теме диссертации. По материалам диссертации опубликовано 22 научных работ, из них восемь работ в изданиях, рекомендуемых НАК ПКР, двенадцать работ, индексируемых в WoS и/или Scopus. Получено два патента на изобретение.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и приложения. Полный объем диссертации составляет 188 страниц, включая 133 рисунков и 11 таблиц. Список литературы содержит 119 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обосновывается актуальность исследований, проводимых в рамках данной диссертационной работы, приводится обзор научной литературы по изучаемой проблеме, формулируется цель, ставятся задачи работы, излагается научная новизна и практическая значимость исследования.

Первая глава «Формирование информационной базы и гелиоэнергетические ресурсы Республики Казахстан» посвящена формированию информационной базы и предложен комплексный подход по определению гелиоэнергетических ресурсов Республики Казахстан.

Проведенный теоретический и экспериментальный опыт показывает, что тепловые насосы расширяют возможности использования солнечной энергии за счет дублирования ее другими низкопотенциальными источниками.

Анализ результатов патентного исследования показал конструктивные достоинства ныне существующих солнечных коллекторов, тепловых насосов и систем управления. Исходя из этого можно говорить о создании принципиально нового устройства с цифровыми технологиями, более совершенного с технической точки зрения и при этом выполняющего все функции управления программным обеспечением.

По результатам статистической обработки средних значений прямой, суммарной радиации и продолжительности солнечного сияния, выделены пять

зон и составлена гистограмма, характеризующая возможности внедрения гелиоустановок по территории РК.

Вторая глава «Математический анализ двухконтурной гелиоустановки с термосифонной циркуляцией» посвящена разработке математического обоснования основных параметров термосифонного эффекта для системы солнечного теплоснабжения. Решена система уравнений теплопереноса в элементах конструкции гелиоколлектора совместно с уравнениями краевых условий – начальных и граничных между элементами конструкции.

Основным вопросом термосифонной системы солнечного теплоснабжения остается определение высоты, на которой должен располагаться бак-аккумулятор солнечной энергии для максимальной эффективности работы гелиосистемы. Опытным путем выяснено, что днище бака-аккумулятора должно располагаться на 300 мм выше верхней части коллектора. Через трубу вода поступает в верхнюю часть бака-аккумулятора, поднимается вверх по коллектору и при нагреве в коллекторе расширяется, становится менее плотной. В результате более прохладная вода у днища бака вытесняется и перетекает по другой трубе в нижнюю часть коллектора. Эта вода в свою очередь нагревается и поднимается в бак. Пока поступает солнечная энергия, вода будет постоянно циркулировать по этому контуру, нагревая бак-аккумулятор. Вследствие того, что бак приподнят над коллектором, эффект опрокидывания циркуляции в результате ночного охлаждения теплоносителя в коллекторе сводится на нет, так как холодная вода просто скапливается в нижней точке системы (на дне коллектора), в то время как теплая вода остается в баке.

Когда вода нагревается и ее плотность в контуре коллектора уменьшается, возникает избыточное гидростатическое давление P (Па):

$$\Delta P = g \cdot [\rho_w(t_c) - \rho_w(t_b)] \cdot F \quad (1)$$

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

где g – ускорение силы тяжести, м/с^2 ;

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 днищем бака-аккумулятора и верхней частью коллектора, м.

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:

$$ne = \frac{L - (d_c - 2 \cdot dkk)}{dk - 2 \cdot dkk}, \quad (3)$$

где d_{kk} – 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 коллектора должно быть целым четным числом, значение ne округляется до ближайшего четного числа.

Расстояние между элементами спирали определяется из выражения

$$de = \frac{dk - 2 \cdot d_{kk}}{ne} \quad (4)$$

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

$$ln = \pi \cdot \frac{se}{2} \quad (5)$$

$$ll = \frac{L}{de - 2 \cdot ln} \quad (6)$$

Потеря давления в линейной части элемента спирали описывается уравнением [8]:

$$\Delta P = \frac{32\mu(t) \cdot ll}{d^2} \cdot v_{aver} \quad (7)$$

где μ – средняя по длине линейной части спирали динамическая вязкость теплоносителя, Н·с/м²; v_{aver} – средняя скорость теплоносителя, м/с.

Потеря давления в нелинейной части элемента спирали коллектора вычисляется из выражения [9] (формула Берда – Карно):

$$\Delta P_{ln} = \xi \cdot \frac{v_{aver}}{\rho} \quad (8)$$

где ξ – коэффициент местного сопротивления.

Местное сопротивление нелинейной части спирали коллектора представляет поворот трубы на 90° и рассчитывается по формуле

$$\xi = 0,051 + 0,19 \frac{d}{R} \quad (9)$$

где R – радиус поворота медной трубы спирали, м; $R = se/2$.

Для моделирования падения гидравлических сопротивлений в медной трубчатой спирали на блоках коллектора получены основные уравнения:

– на первом участке коллектора:

$$H_R = n \cdot \frac{64 \cdot (\mu(t_b(3)) + \mu(t_c(1))) \cdot ll}{\pi \cdot d^4} + (2 \cdot n - 1) \cdot 2\xi \cdot \frac{\rho(t_b(3)) + \rho(t_c(1))}{\pi \cdot d^4}, \quad (10)$$

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

$$H_c(t) = n \cdot \frac{64 \cdot (\mu(t_c(t-1)) + \mu(t_c(t))) \cdot ll}{\pi \cdot d^4} + 4n \cdot \xi \cdot \frac{\rho(t_c(t-1)) + \rho(t_c(t_0))}{\pi \cdot d^4}. \quad (11)$$

Количество тепла q_k (Дж), поступающего из коллектора в бак-аккумулятор, определим с помощью формулы

$$q_c = c_w(t_c) \cdot \rho_w(t_c) \cdot t_c \cdot g_c. \quad (12)$$

В третьей главе «Результаты экспериментальных исследований» описана система управления двухконтурной гелиоустановки с термосифонной циркуляцией.

Сущность и новизна предлагаемого метода состоит в том, что в отличие от известного принципа конструирования коллектор содержит прозрачный стеклопакет 2 с двойным стеклом и с уменьшенным давлением, а также периметрическую раму 1 (рисунок 1).

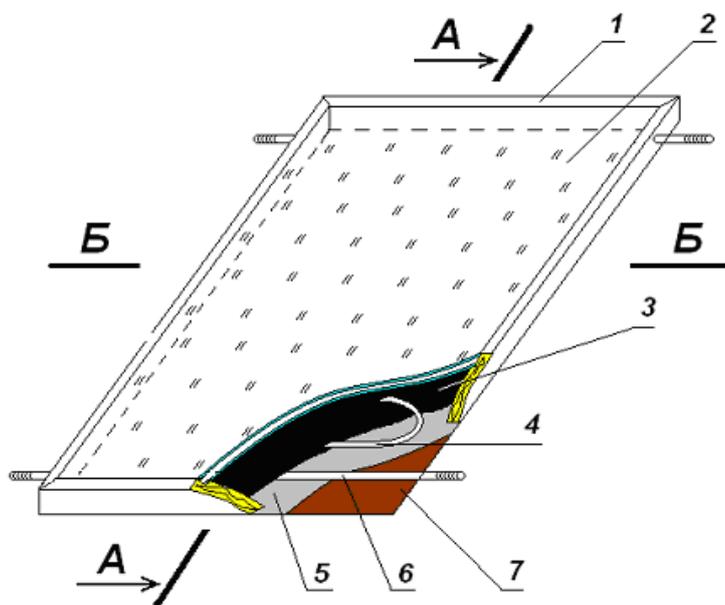


Рисунок 1 – Модель плоского солнечного гелиоколлектора

Днище деревянной рамы 7 сделано из фанеры толщиной 8 мм, к нему приклеена теплоизолирующая пленка 5 с фольгой. В зазоре, который образуется между стеклопакетом и днищем рамы, проложена гибкая тонкостенная нержавеющая гофрированная трубка 4 \varnothing 16 мм в виде змеевика. Концы трубки прикреплены к входным и выходным торчащим трубам 6. Остальное пространство полностью залито битумом 3 с маркой БН-90 толщиной 30 мм по ГОСТ-0015 1807-97, 1 – периметрическая рама, 2 – прозрачный стеклопакет с двойным стеклом и уменьшенным давлением.

На рисунке 2 показана расчетная схема двухконтурной гелиоустановки. Солнечная энергия E с температурой t_0 поглощается гелиоколлектором 1 с температурой t_1 , нагревая поток солнечной энергии 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 вентиляем 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, поглощая 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.

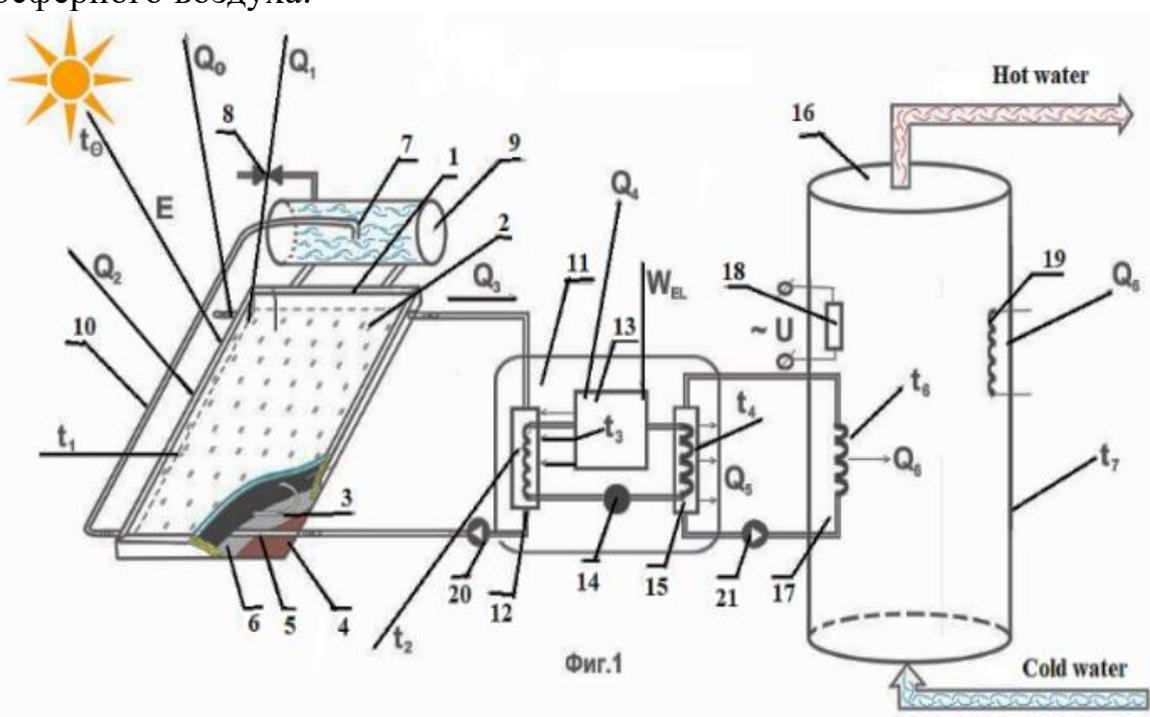


Рисунок 2 – Расчетная схема двухконтурной гелиоустановки

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, а также 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-аккумулятором. Температура воды доводится до требуемого технологического уровня и подается к потребителю на цели горячего водоснабжения и отопления.

На рисунке 3 показан плоский солнечный коллектор. Солнечный коллектор – это устройство, предназначенное для преобразования солнечной энергии в тепловую для нагрева теплоносителя. Для эффективной работы он выполняется в герметичном корпусе, благодаря чему удается предотвратить попадание влаги и пыли, рассеивающих солнечный свет, в пространство между стеклом и адсорбирующей пластиной. Также в это пространство можно закачать инертный газ, что снижает передачу тепла от медной пластины к стеклу.



Рисунок 3 – Плоский солнечный коллектор

Для проведения экспериментальных исследований были изготовлены лабораторные стенды. На рисунке 4 приведена схема и общий вид стенда для квазинатурного моделирования. Основным элементом исследуемой схемы является тепловой насос.

Теплообменники испарителя 1 и конденсатора 2 выполнены в виде кольцевых емкостей, образованных внутренней и внешней цилиндрическими оболочками с радиусами $R1$ и $R2$. Они установлены соосно друг над другом в нижней части испарителя. над конденсатором, образуя внутреннюю цилиндрическую воздушную полость. В полости теплообменника испарителя размещен компрессор 3. Для обеспечения оптимальной теплоотдачи от компрессора к испарителю в зазоре между ними 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 ТН, повышая его

производительность, и компрессор одновременно охлаждается без использования вентилятора.

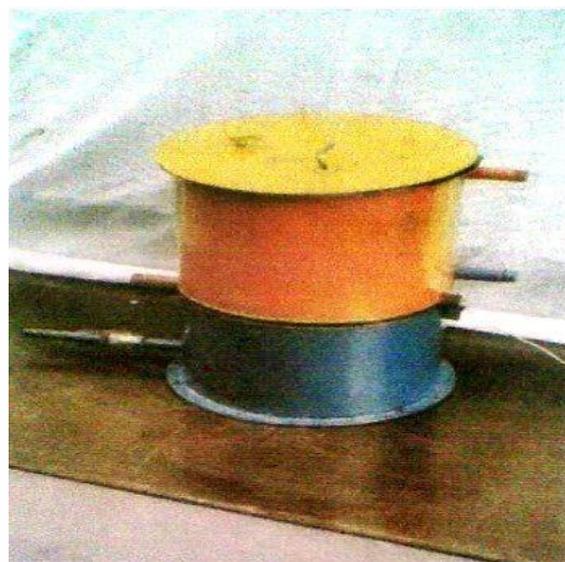
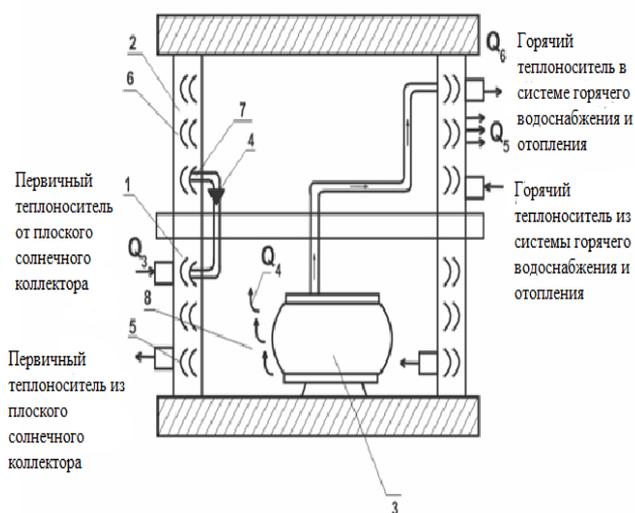


Рисунок 4 – Схема нового технического решения теплового насоса в разрезе 1 – обменик; 2 – конденсатор; 3 – компрессор; 4 – дроссельная заслонка; 5 и 6 – патрубки охлаждающей жидкости испарителя и конденсатора; 7 – отверстие для ввода трубок в корпус конденсатора; 8 – сетка-оболочка-разделитель воздушного потока.

На рисунке 4 представлена схема нового технического решения теплового насоса в разрезе. Предлагаемое устройство позволяет использовать тепло, выделяемое компрессором во время работы, и одновременно охлаждать последний.



Рисунок 5 – Экспериментальный образец и общий вид двухконтурной гелиоустановки

На рисунке 5 представлен экспериментальный 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» 300 Вт. В таблице 1. представлены результаты испытаний гелиоустановки с плоским коллектором.

Таблица 1. – Результаты испытаний гелиоустановки с плоским коллектором

Дата	Время нагрева		Расход воды	Интенсивность солнечной радиации	Температура воздуха	Температура на входе в коллектор	Температура на выходе	Температура в баке начальная	Температур в баке конечная	Теплопроизводительность установка	Эффективность установки	Теплопроизводительность									
	начальное	конечное																			
	τ_n	τ_k											G	E	t_0	t_1	t_2	t_3	t_4	Q	η
	Час, мин												Кг/ч.	Вт/м ²	°С	°С	°С	°С	°С	Вт*ч.	%
22.07.19	11:30	16:30	121,5	827	27,3	23,6	34,1	16	36	7400	0,59	525									
23.07.19	11:50	17:50	157,5	888	27,5	25	31,7	18	38	7400	0,46	300									
24.07.19	10:05	16:05	120,9	822	26,4	25	33,3	18	37	7030	0,47										
27.07.19	11:05	17:45	135	833	25,8	25,4	34,1	17	41	8880	0,54	150									
28.07.19	11:30	16:30	130,7	883	25,6	27,4	37,1	19	39	7400	0,55	150									
30.07.19	9:55	16:55	109	880	26,6	31,9	41,5	18	50	8537	0,46										
22.08.19	9:25	16:25	47,9	868	24,3	26,7	39	17	47	5324	0,29										
23.07.19	9:10	17:10	91,3	809	24,4	33,9	41,8	16,5	54	7090	0,36	170									
26.08.19	9:30	14:30	110,7	665	25,6	21,4	28,1	16	29	4343	0,43										
27.08.19	10:15	17:15	110,3	920	25,9	35,4	42,2	27	48	6090	0,325										
14.09.19	9:30	16:30	73,1	916	26,4	30,7	40,5	20	49	5820	0,49										
16.09.19	14:45	17:10	97,9	824	27,4	48,1	53	44,5	53	6221	0,314										
17.09.19	9:45	16:45	76,4	517	26	30,1	43,8	22	45	8510	0,48	145									

На рисунке 6 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.

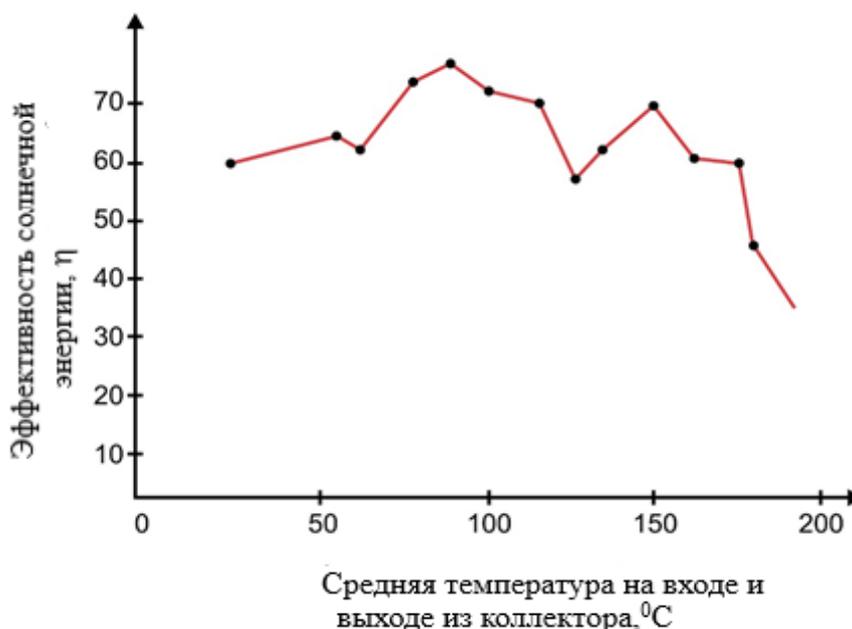


Рисунок 6 - Зависимость эффективности гелиоустановки от средней температуры на входе и выходе из коллектора.

В результате исследования были исследованы экспериментальные данные хладагента R134a производительности теплового насоса.

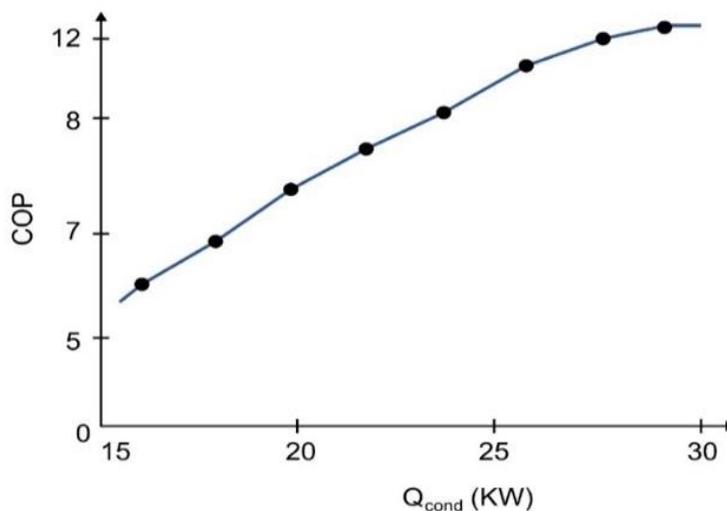


Рисунок 7 - Зависимость массового расхода воды от теплоемкости конденсатора в тепловом насосе

На рисунке 8 показана схема соединения Mojo v3 с датчиками системы управления контроллером. В настоящем исследовании шесть цифровых температурных датчиков (Dallas DS18B20) 2–7 регистрируют температуру плоского солнечного коллектора с термосифоном. Датчики контролируются программируемой логической интегральной схемой 1 Mojo v3. Записи показания температур, хранящихся на ETHERNET modul 9, и состояния

клапанов 10 фиксируются каждые 5 сек. Часы реального времени (RTC) 8 записывают дату и время измерений температурных данных, отправляя их на программируемую логистическую интегральную схему Mojo v3. Шесть датчиков подключены к плате Mojo v3 с шестью электрическими проводами, запрограммированной на языке VHDL. После обработки данные температуры, даты и времени, полученные от RTC 8, соответственно, сохраняются в XML (расширяемый язык разметки) в ETHERNET module.

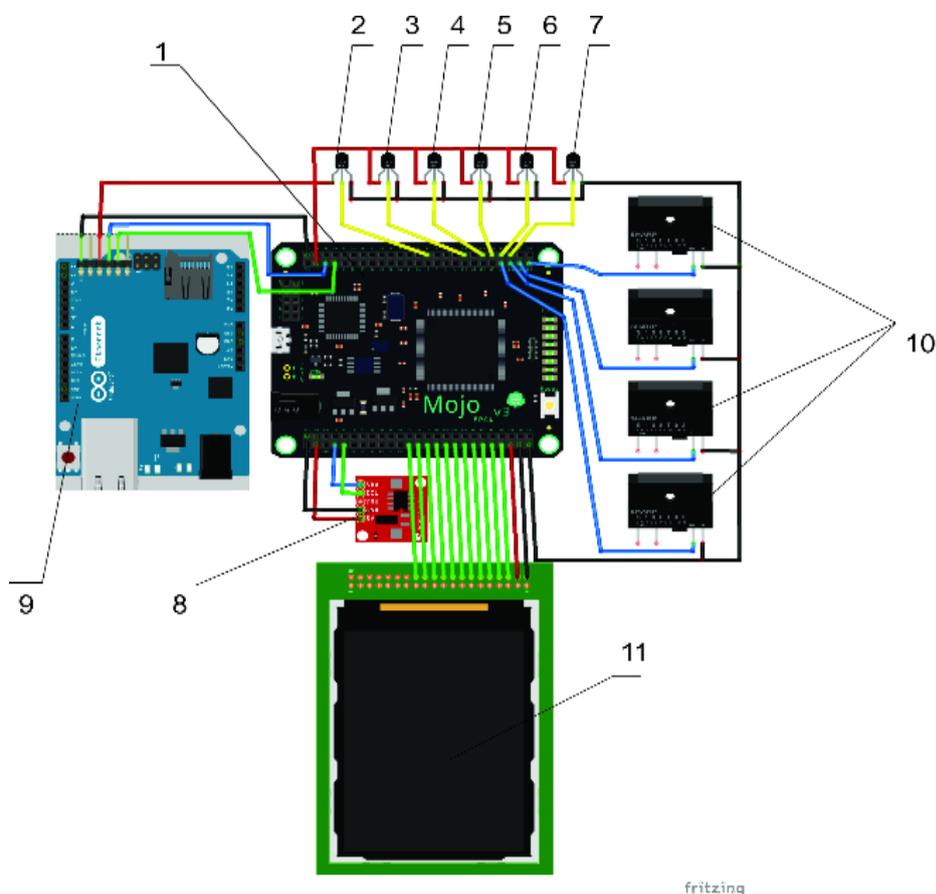


Рисунок 8 – Схема соединения Mojo v3 с датчиками системы управления контроллером

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).

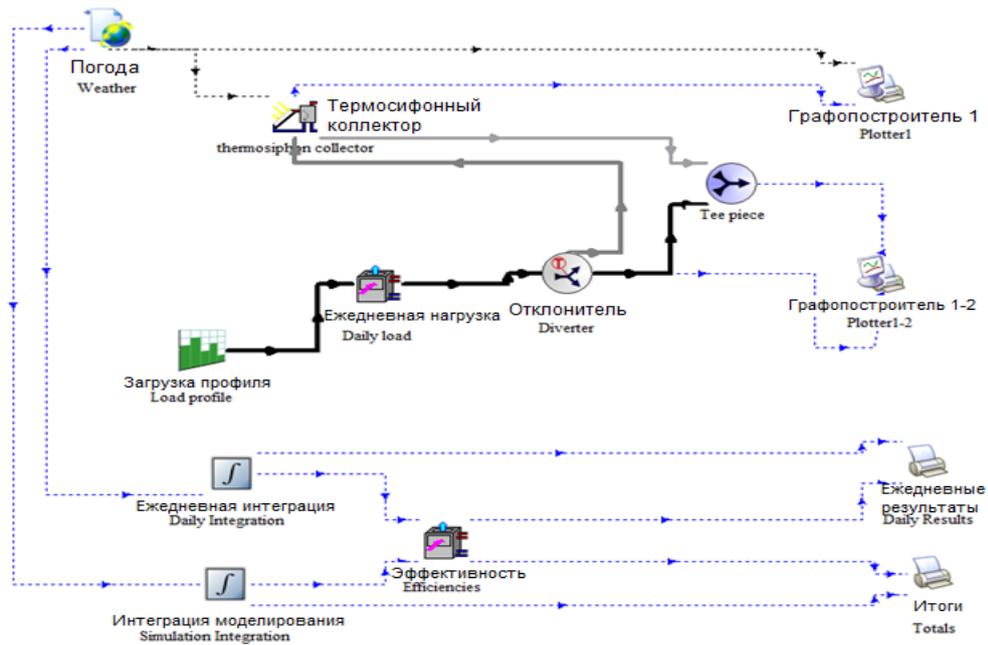


Рисунок 9 – Схема TRNSYS моделируемой термосифонной системы солнечного коллектора

На рисунке 10 показана схема TRNSYS TYPE 15-3 по сравнению со стандартным TYPE 45a проводится сравнение результатов моделирования с соответствующими экспериментальными данными. В частности, были исследованы температура рабочей жидкости на входе/выходе из/в коллектор, массовый расход термосифона и полученная полезная тепловая мощность.

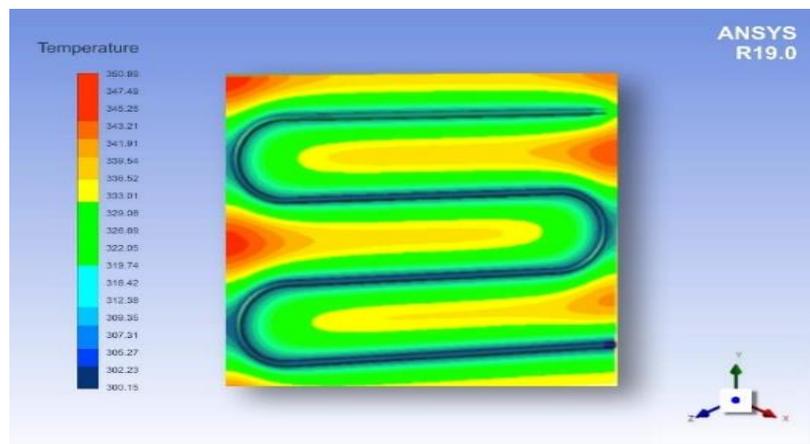


Рисунок 10 – Вычислительная область пластины поглотителя змеевидной трубки

На рисунке 11 изображена система сетевого сбора, хранения и обработки информации от солнечных коллекторов. В контроллере управления солнечным коллектором имеется процессор T-Call ESP 32 + SIM 800L 1, который инициализирует и начинает сбор данных температуры солнечного коллектора 2 и состояния реле клапанов в контроллере управления 3 (Рисунок 11). После процессор T-Call ESP 32 + SIM 800L подключается к Интернету 4 и присоединяется к домену с протоколом передачи гипертекста (HTTP) 5.

Отправляются данные о температурах и состоянии реле клапанов контроллера управления в базу данных 6. Эти данные извлекаются с помощью PHP script и сохраняются в базе данных 8. Затем она интерпретируются в веб-интерфейсе для пользователей 9. Веб-интерфейс разработан как для мобильного телефона, так и для персонального компьютера.

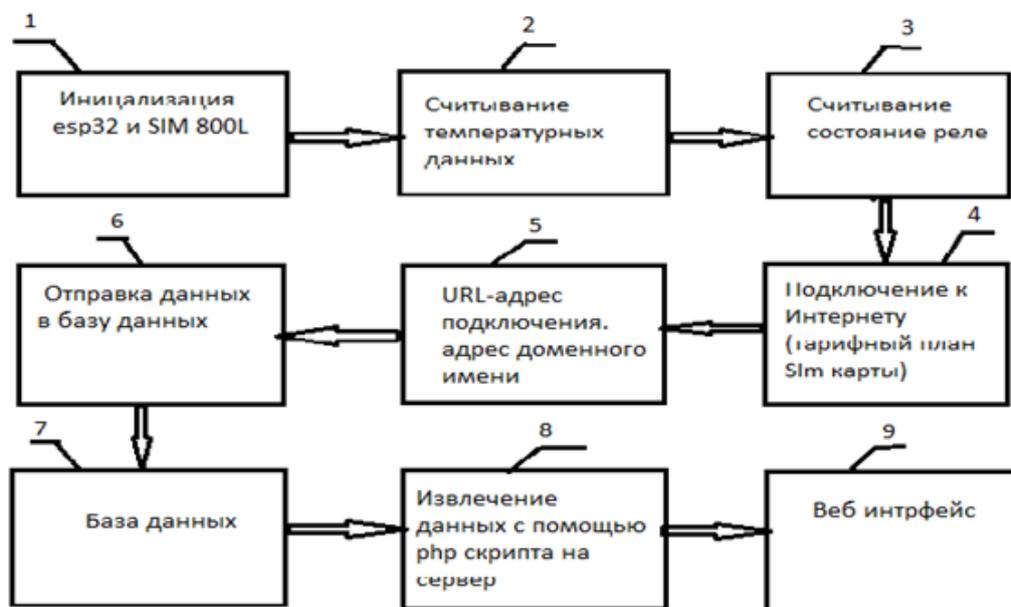


Рисунок 11 – Система сетевого сбора, хранения и обработки информации от солнечных коллекторов

В четвертой главе «Технико-экономическая эффективность гелиоустановки» представлена экономическая эффективность одной установки для нагрева воды на бытовые нужды. Расчеты приводим с точки зрения экономии традиционных видов энергии и электрической энергии.

Таблица 2. - Исходные данные для расчета экономической эффективности

№	Параметры	Единицы измерения	Показатели
1	Среднее количество солнечной энергии, получаемой за сезон от одной гелиоустановки для нагрева воды, $Q_{\text{сол}}$	кВт*ч	276
2	Расход электрической энергии на получение этого количества тепловой энергии при использовании электрической энергии, $Q_э$	кВт*ч	2914,8
3	Затраты на электрическую энергию, $Z_э$	тг	24046,6
4	Средняя тепловая мощность плоского гелиоколлектора, $P_{\text{сред}}$	Вт	270
5	Часовая производительность гелиоустановки, t	л/ч	30

В общем случае срок окупаемости гелиоустановки можно определить по формуле:

$$T = S_c / (QC_T) = 12000 / (1,9892140) = 2,82 \text{ лет} \quad (17)$$

Дополнительный годовой экономический эффект от использования солнечной энергии для нагрева воды получаем ввиду снижения затрат на электроэнергию

$$\mathcal{E}_{год} = \mathcal{Z}_э = 24046,6 \text{ тг} \quad (18)$$

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

ВЫВОДЫ

Основные результаты диссертационной работы, следующие:

1. Проведенные патентные исследования позволили обосновать новую конструктивно-технологическую схему двухконтурной гелиоустановки с тепловым насосом для горячего водоснабжения и отопления. Она состоит из гелиоколлектора, теплового насоса, бака-аккумулятора с устройствами резервного источника тепла.

2. Усовершенствована теоретическая основа и метод математического моделирования функционирования гелиоустановки с тепловым насосом. 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 ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1. **Кунелбаев, М. М.** Численное моделирование для анализа параметров эффективности нового типа плоского солнечного коллектора [Текст] / М. М. Кунелбаев // Вестн. ЮУрГУ. – Серия: «Энергетика». – 2020. – Т. 20, № 4. – С. 77–85. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44432692>

2. **Кунелбаев, М. М.** Разработка дистанционного мониторинга для систем солнечного теплоснабжения [Текст] / М. М. Кунелбаев // Вестн. ЮУрГУ. – Серия: «Энергетика». – 2021. – Т. 21, № 1. – С. 90–98. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44930190>

3. **Кунелбаев, М. М.** Разработка автоматизированного контроллера управления для системы солнечного теплоснабжения [Текст] / Е. Н. Амиргалиев, М. М. Кунелбаев, Т. Р. Сундетов // Вестн. ЮУрГУ. – Серия: «Энергетика». – 2021. – Т. 21, № 3. – С. 83–90. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46635793>

4. **Кунелбаев, М. М.** Результаты исследований двухконтурной гелиоустановки с термосифонной циркуляцией в зимний период [Текст] / Р. А. Омаров, М. М. Кунелбаев, Д. Р. Омар // Вестн. ЮУрГУ. – Серия: «Энергетика». – 2021. – Т. 21, № 4. – С. 66–72. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=47414620>

5. **Кунелбаев, М. М.** Система автоматизации системы солнечного теплоснабжения [Текст] / М. М. Кунелбаев // Инженерный вестник Дона. – 2022, №3. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=48413159>

6. **Кунелбаев, М. М.** Использование алгоритмов машинного обучения для системы солнечного теплоснабжения [Текст] / М. М. Кунелбаев // Инженерный вестник Дона. – 2022. №3. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=48413146>

7. **Кунелбаев, М. М.** Экспериментальное тестирование и численное моделирование одноконтурного солнечного водонагревателя с термосифоном в животноводческом хозяйстве [Текст] / Р.А. Омаров, М.М. Кунелбаев, Б.С. Токтоналиев, Г.А. Шабикова. Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета.-2022. –Т.22, №8. – С.114-121. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49558443>

8. **Кунелбаев, М. М.** Разработка контроллера автоматического управления для системы солнечного теплоснабжения [Текст] / Р.А. Омаров, Ж.Ж.Турсунбаев, М.М. Кунелбаев, Б.С. Токтоналиев, У.Э.Карасартов // Известия ОшГУ.- 2023.-№ 2. Часть 1.-С.198-207. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=54652059>

9. **Kunelbayev, M.** Solar-driven resources of the Republic of Kazakhstan [Текст] / Y. N. Amirgaliyev, M. Kunelbayev, W. Wójcik, A. K. Kozbakova, A. A. Irzhanova // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences. – 2018. – Vol. 3(430). – P.

18–27. Режим доступа: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85052204513&origin=resultslist>

10. **Kunelbayev, M.** Calculation and selection of flat-plate solar collector geometric parameters with thermosiphon circulation [Текст] / Y. Amirgaliyev, M. Kunelbayev, W. Wójcik, N. Kataev, A. Kozbakova // Journal of ecological engineering. – 2018. – Vol.19(6). – P. 176–181. Режим доступа: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85054682829&origin=resultslist>

11. **Kunelbayev, M.** Study of convective heat transfer in flat plate solar collectors [Текст] / Y. Amirgaliyev, M. Kunelbayev, A. Kalizhanova, O. Auelbekov, N. Kataev // WSEAS Transactions on Systems and Control, 2019. – Vol. 14. –P. 129–137. Режим доступа: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85065389149&origin=resultslist&sort=plf-f>

12. **Murat, K.** Mathematical justification of thermosiphon effect main parameters for solar heating system [Текст] / A.Yedilkhan, M. Kunelbayev, A. Beibut, M. Tumor, D. Azhibek //Cogent Engineering. 2020. –Vol. 7(1). –P. 1851629. Режим доступа: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85097393492&origin=resultslist>

13. **Kunelbayev, M.** Developing the system of collecting, storing and processing information from solar collectors [Текст] / W. Wojcik, Y. Amirgaliyev, M. Kunelbayev et al. // International Journal of Electronics and Telecommunications. – 2021. – Vol. 67, Iss. 1. – P. 65–70. Режим доступа: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85102600911&origin=resultslist>

14. **Kunelbayev, M.** Using machine learning algorithms to detect anomalies in the solar heating system [Текст] / M. Kunelbayev, A. Abdildayeva, G. Taganova // International Journal of Mechanics. – 2021. – Vol.15. – P. 270-275. Режим доступа: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85128855750&origin=resultslist&sort=plf-f>

15. **Kunelbayev, M.** Analysis of energy and exergy of a two-circuit solar installation with thermosiphon circulation [Текст] / M. Kunelbayev, R. Omarov, E. Kurt, D. Omar // WSEAS Transactions on environment and development. – 2021. – Vol.17.-P.1191–1200.Режим доступа: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85127042534&origin=resultslist&sort=plf-f>

16. **Kunelbayev, M.** Experimental testing and numerical simulation of a single-circuit solar water heater with a thermosiphon [Текст] / M. Kunelbayev, T. Guldana, A. Assel, D. Laura, K. Aiman // WSEAS Transactions on environment and development. – 2022, 18, pp. 894–898. Режим доступа: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85133522187&origin=resultslist&sort=plf-f>

17. **Kunelbayev, M.** Thermal loss analysis of a flat plate solar collector using numerical simulation [Текст] / Т. Merembayev, Y. Amirgaliyev, M. Kunelbayev, D. Yedilkhan // Computers, Materials and Continua. – 2022. –Vol. 73(3). – P. 4627–4640.

Режим доступа: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85135005709&origin=resultslist>

18. **Kunelbayev, M.** Improving the efficiency of environmental temperature control in homes and buildings [Текст] / М. Kunelbayev, Y. Amirgaliyev, T. Sundetov // Energies. – 2022. – Vol.15. – P. 8839. Режим доступа: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85143776022&origin=resultslist&sort=plf-f>

19. **Kunelbayev, M.** Calculation of temperature data from an automatic solar heat supply system [Текст] / М. Kunelbayev, S. Ixanov, B. Imanbek, R. Omarov, O. Dauren // International Journal of Power Electronics and Drive Systems. – 2023. – Vol. 14(1). – P. 622–629. Режим доступа: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85135005709&origin=resultslist>

20. **Kunelbayev, M.** Thermodynamic Analysis of an Experimental Model of a Solar-Heat Supply System [Текст] / Kunelbayev, M.; Bigaliyeva, Z.; Tuleshov, Y.; Ibekeyev, S.; Kerimkulov, D. Thermodynamic Analysis of an Experimental Model of a Solar-Heat Supply System// Processes. - 2023.-Vol.11. P. 451. Режим доступа: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85149214215&origin=resultslist>

21. **Патент 33741** Республика Казахстан, МПК F24S23/00(2006.01); F24SJ2/34(2006.01) Двухконтурная гелиоустановка с термосифонной циркуляцией [Текст]/Е.Н.Амиргалиев, М.М.Кунелбаев, О.А.Ауелбеков, Н.С.Катаев, А.У.Калижанова, А.Х. Козбакова- №2018.0209.1; заявл. 04.04.2018; опубл. 02.07.2019. Режим доступа: <https://gosreestr.kazpatent.kz/Invention/Details?docNumber=293459>

22. **Патент 35112** Республика Казахстан, МПК F24S50/00 (2018.01) Система дистанционного мониторинга солнечного коллектора [Текст] / Е.Н.Амиргалиев, М.М.Кунелбаев, Д.Едилхан, С.М.Даулбаев, А.Х. Козбакова, А.У.Калижанова, Т.Р.Сундетов, Т.А.Орманов- № 2020/0227.1; заявл. 13.07.2020, опубл. 15.10.2021. Режим доступа: <https://gosreestr.kazpatent.kz/Invention/Details?docNumber=326416>

РЕЗЮМЕ

05.20.02 – Айыл чарбасындагы электр технологиялары жана электр жабдуулары адистиги боюнча техника илимдеринин кандидаты илимий даражасын алуу үчүн “Термосифондук циркуляциясы бар кош контурлуу күн установкасын башкаруу системасы” деген темада Кунелбаев Мурат Меркебековичтин диссертациясы

Өзөктүү сөздөр: жалпак күн коллектору, жылуулук насосу, сактоочу резервуар, термосифондук циркуляция, маалыматты чогултуу, сактоо жана иштетүү, күн жылытуу системасы.

Изилдөөнүн объектиси жана предмети: Изилдөөнүн объектиси болуп термосифондук циркуляциясы бар кош контурлуу күн установкасы саналат.

«Күн коллектору + жылуулук насосу» системасынын параметрлеринин таасири, системанын технологиялык жана энергетикалык көрсөткүчтөрү.

Изилдөөнүн максаты: жылуулук насосу менен кош контурлуу күн установкасынын иштөө принциптерин иштеп чыгуу жана орнотуу.

Изилдөө ыкмалары: математикалык моделдөө ыкмалары, эксперименталдык изилдөө ыкмалары, инженердик эсептөөлөр, компьютердик моделдөө.

Иштин илимий жаңылыгы:

– термосифондук циркуляциясы бар кош контурлуу күн установкасынын жаңы долбоору иштелип чыкты. Анын айырмалоочу өзгөчөлүгү - конденсатор жана бууланткыч "спиральдагы" жылуулук алмаштыргыч түрүндө жасалган дозатор багы жана жылуулук насосунун жана жылуулук алмаштыргыч түтүктөрдүн болушу, бул аянты жана жылуулук алмашуунун интенсивдүүлүгү, бири-биринен жогору жайгаштырылат, ошону менен орнотуунун натыйжалуулугун жогорулатууну камсыз кылат.

Алынган натыйжалар: термосифондук циркуляциясы бар кош контурлуу күн установкасы иштелип чыкты, мында дат баспас жука дубалдуу толкундуу түтүктө жылуулук берүүнүн эффективдүүлүгү муздаткычтын 15-20% га жогорулайт. Эксперименталдык изилдөөлөр жаңы ТН чечими иштөө шарттарына жараша жылуулуктун 10% га чейин көбөйүшүн камсыздай турганын тастыктады. Сандык моделдөө изилдөөдө жалпак күн коллекторунун жылуулук эффективдүүлүгү эксперименталдык маалыматтарга караганда 7–10% жогору болгон.

Пайдалануу даражасы: илимий-изилдөө иштеринин натыйжалары Казахстан Республикасынын чарбаларында жана башка айыл чарбаларын калыптандырууда, ошондой эле айыл чарба жогорку окуу жайларынын окуу процессинде пайдаланылат.

Колдонуу чөйрөсү: айыл чарба кооперативдеринде жана бириккен дыйкан чарбаларында, ошондой эле айыл чарба жогорку окуу жайларынын окуу процессинде.

РЕЗЮМЕ

диссертации Кунелбаева Мурата Меркебековича на тему: «Система управления двухконтурной гелиоустановки с термосифонной циркуляцией» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.20.02 - электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве.

Ключевые слова: плоский солнечный коллектор, тепловой насос, бак-аккумулятор, термосифонная циркуляция, сбор, хранения и обработки информации, система солнечного теплоснабжения.

Объект и предмет исследования: объектом исследований является двухконтурная гелиоустановки с термосифонной циркуляцией.

Закономерности влияния параметров системы «гелиоколлектор + тепловой насос», технологические и энергетические показатели системы.

Цель исследования: разработка и установление закономерностей функционирования двухконтурной гелиоустановки с тепловым насосом.

Методы исследования: математические методы моделирования, методы экспериментальных исследований, инженерные расчеты, компьютерные моделирование.

Научная новизна работы:

– разработана новая конструкция двухконтурной гелиоустановки с термосифонной циркуляцией. Ее отличительными особенностями являются, 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, благодаря чему обеспечивается повышение КПД установки.

Полученные результаты: разработана двухконтурная гелиоустановка с термосифонной циркуляцией, в которой КПД теплопередачи увеличивается на 15-20% от теплоносителя- нержавеющей тонкостенной гофрированной трубы. Экспериментальные исследования подтвердили, что новое решение ТН в зависимости от условий работы обеспечивает повышение теплопроизводительности до 10 %. При исследовании численным моделированием тепловой КПД плоского солнечного коллектора был выше на 7–10 %, чем при экспериментальных данных.

Степень использования: результаты научно-исследовательской работы могут быть использованы в фермерских хозяйствах и других агроформированиях Республики Казахстан, а также в учебном процессе аграрных вузов.

Область применения: в сельскохозяйственных кооперативах и объединённых крестьянских хозяйствах, а также в учебном процессе аграрных вузов.

RESUME

of Kunelbayev Murat Merkebekovich dissertation on the topic: "Control system of a two-circuit solar installation with thermosiphon circulation" for the degree of Candidate of Technical Sciences in the specialty 05.20.02 - electro technology and electrical equipment in agriculture.

Keywords: flat solar collector, heat pump, storage tank, thermosiphon circulation, collection, storage and processing of information, solar heat supply system.

Object and subject of research: the object of research is a two-circuit solar system with thermosiphon circulation.

Patterns of influence of the parameters of the "solar collector + heat pump" system, technological and energy indicators of the system.

The purpose of the study: to develop and establish the patterns of functioning of a dual-circuit solar installation with a heat pump.

Research methods: mathematical modeling methods, experimental research methods, engineering calculations, computer modeling.

Scientific novelty of the work:

– a new design of a two-circuit solar installation with thermosiphon circulation has been developed. Its distinctive features are the presence in the design of a metering tank and a heat pump, where the condenser and evaporator are made in the form of a spiral-in-a-spiral heat exchanger, and the pipelines of heat exchangers, which allow to increase the area and intensity of heat exchange, are placed one above the other, thereby increasing the efficiency of the installation.

The results obtained: a two-circuit solar installation with thermosiphon circulation has been developed, in which the efficiency of heat transfer increases by 15-20% of the coolant - stainless thin-walled corrugated pipe. Experimental studies have confirmed that the new TN solution, depending on the working conditions, provides an increase in thermal performance of up to 10%. When studied by numerical simulation, the thermal efficiency of a flat solar collector was 7-10% higher than with experimental data.

Degree of use: the results of research work can be used in farms and other agricultural formations of the Republic of Kazakhstan, as well as in the educational process of agricultural universities.

Scope of application: in agricultural cooperatives and united peasant farms, as well as in the educational process of agricultural universities.

Формат 60x84 $\frac{1}{16}$ бумага офсетная. Объем 1,75 печ. листа.
Тираж 50 экз.

Отпечатано ОсОО «Кут-Бер» г. Бишкек, ул. Медерова, 68