

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ**

**КЫРГЫЗСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. И. РАЗЗАКОВА**

**На правах рукописи
УДК 662.997**

БЕРДЫБАЕВА МАКЕН ТОЛОБАЕВНА

**КОМБИНИРОВАННАЯ СОЛНЕЧНО-ТЕПЛОНАСОСНАЯ
УСТАНОВКА**

**Специальность 05.14.08 - Энергоустановки на основе возобновляемых видов
энергии**

**АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Бишкек 2010

Работа выполнена в Институте автоматизации и информационных технологий
Национальной Академии Наук Кыргызской Республики

Научный руководитель	доктор технических наук, профессор Обозов А.Дж.
Официальные оппоненты:	доктор технических наук, профессор Койшиев Т. К. кандидат технических наук, доцент Дикамбаев Ш. Б.
Ведущая организация	Кыргызский научно – исследовательский и проектный институт сейсмостойкого строительства

Защита диссертации состоится « 11 » июня 2010 г. в 16.00 часов на заседании специализированного Диссертационного Совета Д.05.10.405 при Кыргызском Государственном Техническом Университете им. И. Раззакова по адресу: 720044 , г. Бишкек, Пр. Мира, 66

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные гербовой печатью, просим направлять по адресу:
720044, г. Бишкек, пр. Мира 66, Кыргызский Государственный Технический Университет, Диссертационный Совет Д. 05.10.405

Автореферат разослан «7» мая 2010 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
к.т.н., доцент

Э.Б. Исакеева

ОСНОВНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

В настоящее время основным источником энергии также остается органическое топливо - газ, нефть и уголь. Интенсивное использование этого топлива приводит к выбросу вредных продуктов сгорания в атмосферу и к истощению их запасов: все это привело к необходимости поиска новых нетрадиционных способов получения энергии, в том числе и использованию экологически чистых ВИЭ.

Потенциальные запасы ВИЭ в республике достаточно высоки. Максимальное значение прямой солнечной радиации достигает до 1000 Вт/м^2 [12]. Ветроэнергетические ресурсы оцениваются в 400 млн. кВт. Ресурсы разведанных месторождений геотермальной энергии достигают 613 млн. ГДж в год, переработка биомассы в среднем позволит получить около 1610 млн. куб. м горючего газа метана. Общая мощность горных водотоков оценивается в 1,6 млн. кВт. Указанный потенциал ВИЭ могут замещать до 50,7% потребности в топливно-энергетических ресурсах, потребляемых сегодня республикой.

Использование указанных видов ВИЭ имеет свои особенности, связанные с природно-климатическими условиями, географическим положением местности, промышленно - хозяйственной инфраструктурой, определяющей распределение и потребление энергии того или иного потребителя.

В Кыргызской Республике 94% территории расположены на высокогорье, где проживает 60% сельского населения. Населенные пункты рассредоточены и удалены от систем централизованного теплоснабжения, к ним доставка топлива затруднительна и очень дорога.

Актуальность работы. Из большого разнообразия используемых ВИЭ в республике особое место занимают комбинированные солнечно - теплонасосные установки (КСТНУ). КСТНУ преобразовывают низкопотенциальную тепловую энергию наружного атмосферного воздуха на более высокий температурный уровень, при этом используют солнечную радиацию для предварительного нагрева в солнечно - воздушных коллекторах. Воздух является самым доступным из всех источников низкопотенциального тепла, поскольку не требует значительных затрат по его применению, в сравнении с водой или грунтом, и при отсутствии поблизости от потребителя источников низкопотенциальной теплоты, как реки, озера, геотермальные воды. КСТНУ работает одновременно на разных источниках энергии: наружный атмосферный воздух, солнечная радиация, вторичные энергоресурсы [9].

Таким образом, природно-климатические условия страны, отсутствие в достаточном количестве собственных традиционно топливно-энергетических ресурсов, большое количество малоэнергоёмких автономных потребителей, особенно в сельской местности, относительно низкая цена на электрическую энергию, высокий потенциал солнечной энергии - все это определяет перспективность исследований, направленных на создание гибридной системы энергоснабжения для маломощных потребителей как КСТНУ.

Цель работы - разработка комбинированной солнечно - теплонасосной установки для нужд теплоснабжения маломощных потребителей.

Задачи исследования

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- синтез принципиальной схемы комбинированной солнечно - теплонасосной установки;
- разработка методов расчета и выбор теплотехнических и конструктивных параметров КСТНУ;
- исследования процессов преобразования и передачи энергии в низкопотенциальном испарителе установки;
- разработка практических рекомендаций по проектированию комбинированной солнечно - теплонасосной установки малой мощности;
- разработка методики экспериментальных исследований и проведения эксперимента.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Методика расчета и выбора параметров теплового солнечного преобразователя.
2. Обоснование рациональных областей использования КСТНУ в зависимости от температурных характеристик на испарителе и конденсаторе.
3. Установление взаимосвязи коэффициента преобразования ϕ и КПД η с величинами тепловых энергий на испарителе и нагрузки компрессора.
4. Разработка графо - аналитического метода расчета КПД и выбора рациональной величины расхода теплоносителя в зависимости от температуры окружающей среды и температуры на абсорбере испарителя.
5. Результаты экспериментальных исследований режимов работы установки.
6. Инженерные методы расчета, выработка практических рекомендаций по проектированию КСТНУ малой мощности и оценка технико-экономической эффективности системы.

Научная новизна работы заключается в:

- синтезе принципиально новой схемы КСТНУ;
- разработке модели КСТНУ для теплоснабжения малоэнергоемких потребителей, техническое решение которой защищено патентом;
- разработке графо - аналитического метода расчета КПД и выбора рациональной величины расхода в зависимости от температуры окружающей среды, пластины;
- в определении рациональной области использования КСТНУ в зависимости от его теплотехнических параметров и температуры низкопотенциального источника.

Практическая ценность результатов работы заключается в том что,

- проведенные исследования систем солнечного теплоснабжения позволили синтезировать и создать комбинированную солнечно - теплонасосную установку для энергоснабжения малоэнергоемких потребителей;

- на основе разработанных методов расчета и синтеза принципиальной схемы КСТНУ, предложенных методологических подходов и полученных

математических моделей, созданы прикладные программы, которые используются в проектировании и в образовательной системе. Результаты исследований внедрены в Кыргыз НИИП сейсмостойкого строительства и КНИИП градостроительства.

- внедрение КСТНУ в производство позволит снизить потребление электрической энергии в индивидуальном секторе.

Личное участие автора в получении научных результатов: Работа автором выполнялась в течение более 10 лет. Автор принимала непосредственное участие и является основным исполнителем полученных результатов на всех этапах данной работы. Участвовала в работах, начиная от разработки методов расчета, создания действующего образца и экспериментального стенда, проведения экспериментов. Все работы проведены при личном и непосредственном участии автора.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы доложены на международных и научно-технических конференциях: Переработка техногенных образований «Техноген-97» (Екатеринбург, 1997г); «Проблемы управления автоматике и информатики», посвященной 40летию образования Института автоматике и информационных технологий НАН КР (Бишкек, 2000 г); «Российские технологии для индустрии» IWFREI 2001 «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии» (Санкт- Петербург, 2001 г); Центрально - Азиатско-Европейская конференция по использованию солнечной энергии (Ташкент, 2003 г); «Физико-химические основы преобразования солнечной энергии» Национальной инженерной академии республики Казахстан (Алматы, 2006 г); «Современное состояние и актуальные проблемы развития энергетики» (Ош, 2008 г.).

Публикации. Основные положения диссертационной работы опубликованы в 12 научных трудах.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Текстовая часть изложена на 153 страницах машинописного текста. В диссертации содержится 8, таблиц 44 рисунка, библиографический список насчитывает 130 наименований, из них на иностранных языках 12.

Основное содержание работы

Во введении обосновывается актуальность диссертации, определены ее цель и задачи, научная новизна, практическая ценность, приведены сведения об апробации работы.

Первая глава посвящена изучению и анализу обеспеченности собственными энергоресурсами республики, особенностей климатических условий для оценки энергетического потенциала солнечной энергии с установлением перспективности использования ее потенциала в отоплении малоэнергоемких потребителей.

Приведен обзор современного состояния использования солнечно-теплонасосных систем, в том числе КСТНУ для теплоснабжения. Опыт стран по использованию солнечной энергии в теплоснабжении показывает, что подобные системы являются энергосберегающими и экологически чистыми технологиями в области ВИЭ. Использование солнечного теплоснабжения хорошо освещено в работах Б. Андерсона, У. Бекмана, Дж. Даффи, Дж. Клейн, С.В. Заколя, Д. Мак-Вейка, Р.Р. Авезова, М. Валова, Б. Казанджана, А.Д. Обозова, В.Н. Богословского, С.Н. Харченко, И.М. Калниня, Б.О. Вардияшвили, С. Танака, Р. Суда, Дж. Твайдла, А. Уэйра.

Выявлена определенная тенденция в развитии проектирования и расчете солнечного теплоснабжения, они в основном направлены на увеличение коэффициента преобразования, снижение стоимости тепловой энергии, снижение стоимости оборудования и увеличение ее надежности. Задача создания эффективного КСТНУ достаточно сложная, многопараметрическая, что приводит к необходимости продолжать исследования по дальнейшему совершенствованию методов расчета и проектирования КСТНУ [6, 7, 8].

Отмечен существующий фактор энергетической зависимости республики от соседних стран. При наличии большого количества малоэнергоемких потребителей, относительно низкой цены на электроэнергию и при благоприятных климатических условиях страны актуально создание новых экологически чистых технологий преобразования солнечной энергии в КСТНУ.

Представление об энергетической эффективности КСТНУ по сравнению с различными вариантами теплоснабжения дает их сопоставление по степени использования первичной энергии. Прямое сжигание топлива в котельной приводит к потере около 18-20 % первичной энергии. Коэффициент использования первичной энергии примерно равен КПД котельной: $\epsilon_{кт} = 0,75-0,85$. Энергетическая эффективность КСТНУ уравнивается с эффективностью котельной уже при $\phi = 2,5$, при этом источники низкопотенциальной энергии (вода, воздух, грунт, вторичные энергоресурсы) составляют 60% [11].

Потери первичной энергии на преобразование электрической энергии на ТЭЦ составляют 68%, потери при транспортировании энергоносителя - 2%. КПД при преобразовании первичной энергии равен 30%. Эта проблема решается при использовании КСТНУ для энергообеспечения маломощных потребителей. Наружный атмосферный воздух является общедоступным теплоносителем и наиболее предпочтительным источником тепла при экономии первичной энергии.

Разность температур, $\Delta t = t_{\text{п}} - t_{\text{н}}$, $^{\circ}\text{C}$	Вид системы отопления	Коэффициент преобразования, ϕ
80	жидкостное	2,2
60	жидкостное	3,0
40	воздушное	4,5
20	панельное, воздушное	5,2

Из таблицы видно, что коэффициент преобразования в системе воздушного и панельного отопления составляет 5.2. Следовательно, можно сделать вывод: для создания эффективной системы теплообеспечения целесообразно иметь более высокую температуру холодного теплоносителя $t_{\text{н}}$ и по возможности более низкую температуру теплоносителя для потребителя $t_{\text{п}}$. Сближение значений этих температур возможно только при

предварительном нагревании наружного воздуха или его смеси с рециркуляционным воздухом в солнечно - воздушных коллекторах. Таким образом, солнечно - воздушный коллектор будет повышать потенциал холодного теплоносителя $t_{\text{н}}$ при помощи солнечной радиации и к тому же требуемый параметр потребляемого теплоносителя не высокое. В воздушном отоплении температурный уровень теплоносителя составляет $35^{\circ}\text{C} < t_{\text{н}} < 45^{\circ}\text{C}$, тогда как в водяном отоплении - 95°C . Благодаря небольшой разности температур между источником тепла и потребителем обеспечивается высокий коэффициент преобразования.

Эффективность работы КСТНУ при использовании теплоносителя - воздух по сравнению с водой видно из P-I диаграммы (Рис.1.)

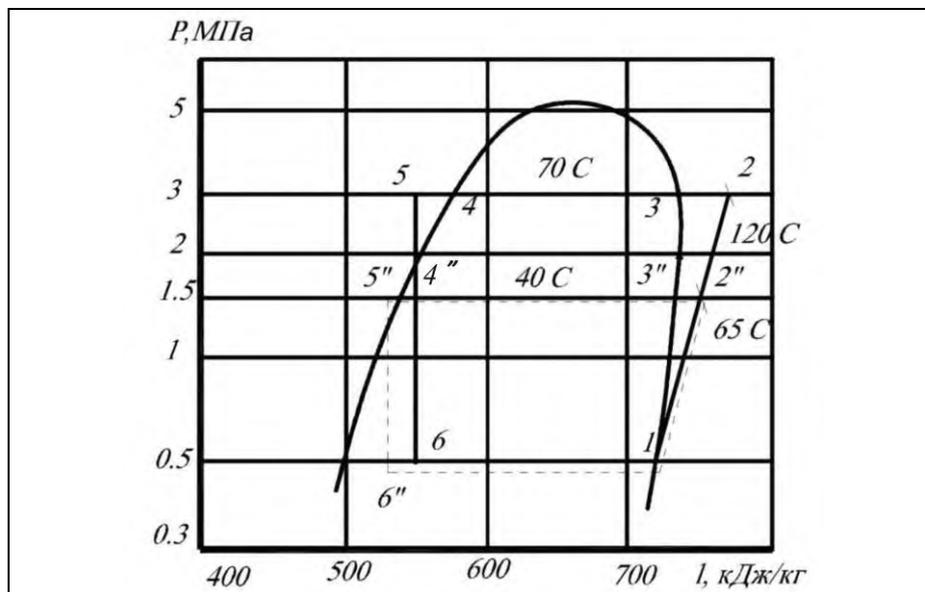


Рис.1.Рабочий цикл ТН в P-I диаграмме для различных систем отопления

Из P-I диаграммы видно, при совершении рабочего цикла ТН с воздушным теплоносителем (линии 1-2'-3'-5'-6'-1) затрачивается меньше энергии на привод компрессора, чем при совершении цикла с жидкостным теплоносителем (линии 1-2-3-5-6-1). Следовательно, коэффициент преобразования энергии КСТНУ с воздушным теплоносителем будет выше.

Во второй главе приведена структурная схема комбинированной солнечно-теплонаносной установки [4] (рис.2). Комбинированная солнечно - теплонаносная установка состоит из следующих элементов (и их параметров) воздушного солнечного коллектора (СК): бак - аккумулятор с гравийными насадками (АБ), тепловой насос (ТН).

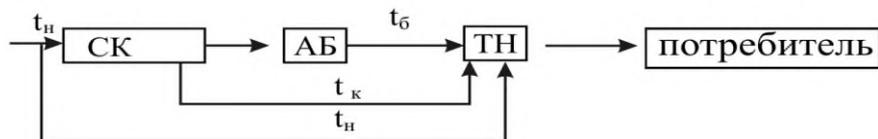


Рис. 2. Структурная схема КСТНУ

t_n - температура окружающей среды, t_k - температура на выходе из солнечного коллектора, $t_б$ - температура на выходе из аккумулятора, t_n - температура у потребителя.

На основе структурной схемы разработана и синтезирована принципиальная схема КСТНУ (Рис.3), на которую был получен патент [10]

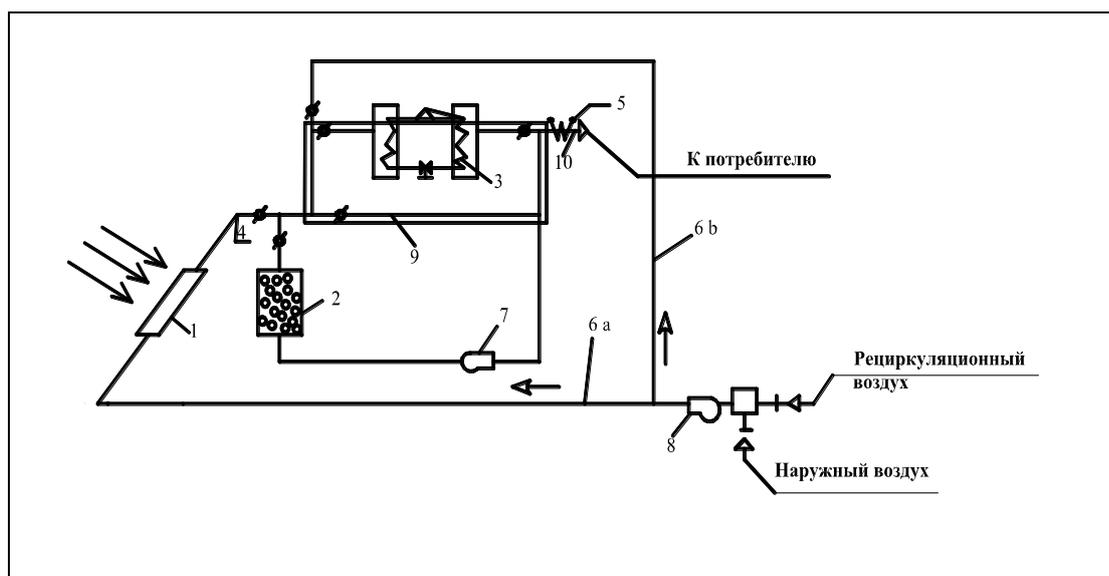


Рис.3. Синтезированная схема КСТНУ с солнечно-воздушным отоплением
1 - солнечный коллектор; 2 - аккумулятор тепла с галечными насадками; 3 - ТН; 4 - переключающие элементы (заслонки); 5 - дополнительный источник тепла; 6а, 6б - рециркуляционные воздуховоды; 7,8 - вентиляторы; 9 - распределительный короб; 10 - воздуховоды.

Система рассматривается как единая динамическая модель, объединяющая возможности совместной работы КСТНУ с солнечно - воздушным коллектором, синтез такой системы позволил создать новую схему отопления, в которой существенным образом повышен коэффициент преобразования ТН при сниженной стоимости тепловой энергии и повышенной надежности в энергообеспечении [1, 2].

В разработанной установке сняты вопросы снижения производительности ТН, когда увеличивается разность температур конденсации и испарения в период минимальных зимних температур, сопровождающаяся энергозатратами на размораживание испарительной батареи. Эффективность работы увеличена на 10-30% [9].

Солнечно - воздушный коллектор является важной частью КСТНУ. Он повышает потенциал холодного теплоносителя, тем самым влияет на повышение коэффициента преобразования ТН.

Для расчета основных характеристик солнечно - воздушного коллектора была разработана математическая модель по расчету таких важных параметров как расход воздуха G , температура пластины T_p , температура наружного воздуха T_a , интенсивность солнечной радиации S , изменение которой влияет на КПД коллектора.

При рассмотрении данной модели были сделаны следующие допущения: движение воздуха под абсорбером - турбулентное; остекление - одинарное; средняя температура стенки канала воздушного коллектора - 300 К.

Для рассматриваемого случая эффективность воздушного солнечного коллектора можно записать:

$$F' = \left(1 + \frac{U_L}{h + \left[\left(\frac{1}{h} \right) + \left(\frac{1}{h_r} \right) \right]^{-1}} \right)^{-1}. \quad (1)$$

Полный коэффициент потерь U_L (Вт/(м²·град)) определяется как:

$$U_L = U_t + U_b. \quad (2)$$

Коэффициент потерь в окружающую среду U_t через одностекольное покрытие

$$U_t = \left(\frac{N}{\left(\frac{344}{T_p} \right) \left[\frac{(T_p - T_a)}{(N + f)} \right]^{0,31}} + \frac{1}{h_w} \right)^{-1} + \frac{\delta(T_p + T_a)(T_p^2 + T_a^2)}{\left[\varepsilon_p + 0,0425 N(1 - \varepsilon_p) \right]^{-1} + \left[\frac{(2N + f - 1)}{\varepsilon_g} \right] - N} \quad (3)$$

Полезную энергию коллектора можем записать как функцию известных параметров:

$$Q_u = A_c F_r [S - U_L(T_p - T_a)]. \quad (4)$$

Тогда КПД равен:

$$\eta = \frac{Q_u}{A \cdot J} \quad (5)$$

На базе разработанных алгоритмов расчета солнечно - воздушного коллектора составлена программа позволяющая осуществлять подбор основных теплотехнических параметров: расхода воздуха G , температуры наружного воздуха T_a , пластины T_p и солнечной радиации, а также анализировать взаимовлияние этих параметров на КПД (η) коллектора (рис.4).

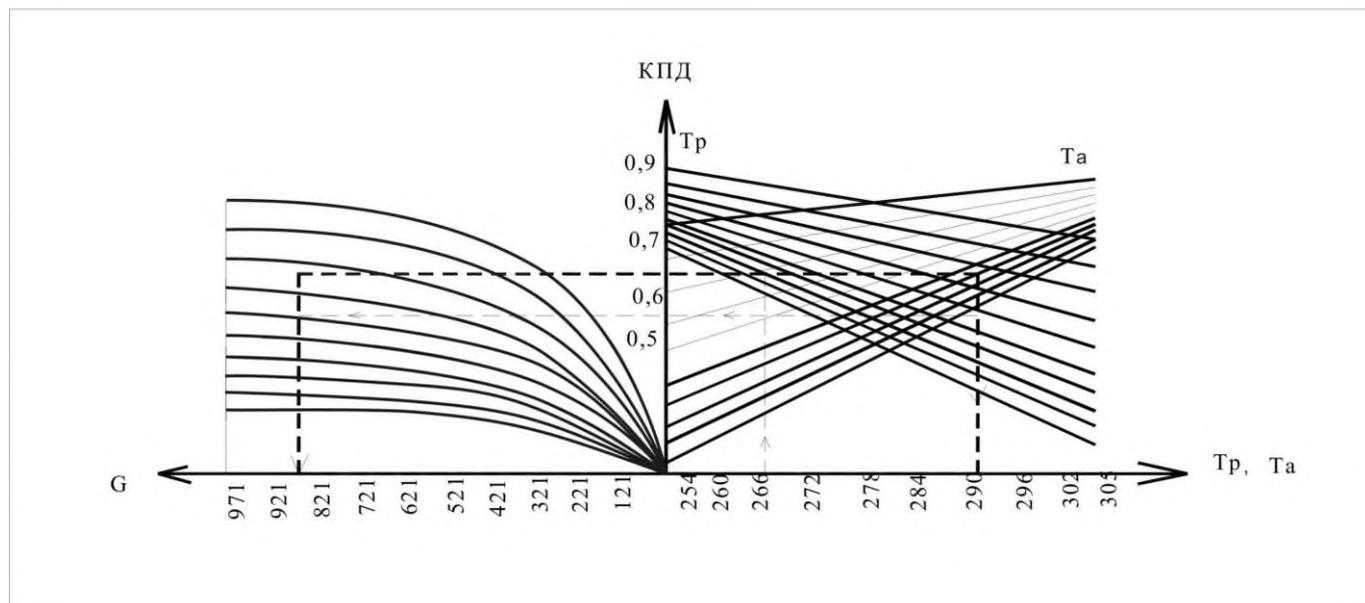


Рис.4. Номограмма для определения основных параметров СК.

С помощью полученной номограммы достаточно просто можно определить требуемые рациональные параметры. Зная температуру наружного воздуха T_a и предварительно задавая $\Delta T = T_p - T_a$, определяем значение $G_{\text{опт}}$ и η по номограмме.

Графо-аналитический метод [3] позволяет, с достаточной точностью для практики, осуществлять предварительный выбор параметров солнечно - воздушного коллектора на стадиях проектирования и конструирования КСТНУ.

Третья глава посвящена расчетно-теоретическим и экспериментальным исследованиям предлагаемой схемы работы КСТНУ. С использованием рассмотренных математических моделей и физических процессов, в галечных аккумуляторах, исследованных А.Б. Вардияшвили, Н.В Харченко, разработана обобщенная математическая модель солнечно - воздушного отопления с тепловым насосом для экспериментального помещения.

Обобщенная модель системы состоит из моделей воздушного коллектора солнечной энергии $Q_{\text{св}}$, галечного аккумулятора теплоты $Q_{\text{б}}$, теплового насоса $Q_{\text{тн}}$ типа “воздух-воздух”, дополнительного источника энергии $Q_{\text{диз}}$ и нагрузки отопления $Q_{\text{от}}$ [7, 8]:

$$Q_{от} = Q_{сэ} + Q_{тн} + Q_{диз}. \quad (6)$$

Полезное количество теплоты, производимое воздушным коллектором:

$$Q_{сэ} = \eta_n \cdot J_{\kappa} \cdot A = J_{\kappa} \cdot (0,73 - 8,52 \cdot (T_{вн} - T_n / J_{\kappa})) \cdot A. \quad (7)$$

Температура воздуха после коллектора:

$$T_{\kappa} = T_n + Q_{сэ} / G \cdot c_p. \quad (8)$$

Температура воздуха на входе в аккумулятор:

$$T_{вн}^{\delta} = T_{\kappa} - \frac{A_{\delta} \cdot K_{пб} (T_{\kappa} - T_n)}{G \cdot c_p}. \quad (9)$$

Температура воздуха после аккумулятора при его зарядке:

$$T_{вк}^{\delta} = T_{вн}^{\delta} - \frac{\lambda_{об} \cdot S \cdot \Delta X}{(G \cdot c_p)_{\delta}} (T_{вн}^{\delta} - T_{зк}). \quad (10)$$

Температура твердых частиц в слое насадки аккумулятора:

$$T_{зк} = \frac{\alpha_{об} \cdot S \cdot \Delta X \cdot (T_{вн}^{\delta} - T_{мн}) - Q_{ном} \cdot \Delta \tau}{(\rho \cdot S \cdot c \cdot \Delta X)_m} + T_{мн}. \quad (11)$$

Количество аккумулированного тепла за каждый час:

$$Q_n^{\delta} = G \cdot c_p (T_{вк}^{\delta} - T_{вн}^{\delta}). \quad (12)$$

Температура воздуха после аккумулятора при его разрядке:

$$T_{вн}^{\delta} = T_{вк}^{\delta} - \frac{\alpha_{об} \cdot S \cdot \Delta X}{(G \cdot c_p)_{\delta}} (T_{мк} - T_{вн}^{\delta}). \quad (13)$$

$T_{мк}$, в свою очередь, находим из выражения:

$$T_{мк} = \frac{\alpha_{об} \cdot S \cdot \Delta X \cdot (T_{вк}^{\delta} - T_{мн}) - Q_{ном} \cdot \Delta t}{(\rho \cdot S \cdot C \cdot \Delta X)_m} + T_{мн}. \quad (14)$$

Количество теплоты, необходимое на отопление потребителя

$$Q_{от} = (T_{вн} - T_n) \left(\sum_1^n F_i (K_i + 0,28 \cdot G_i^H) \right). \quad (15)$$

Коэффициент преобразования ϕ теплового насоса компрессионного типа:

$$\phi_{тн} = \frac{Q_{\square}}{Q_{\ominus}}. \quad (16)$$

Результаты расчета теплопроизводительности КСТНУ, в зависимости от изменения температуры наружного воздуха и солнечной радиации, показаны на рис.5.

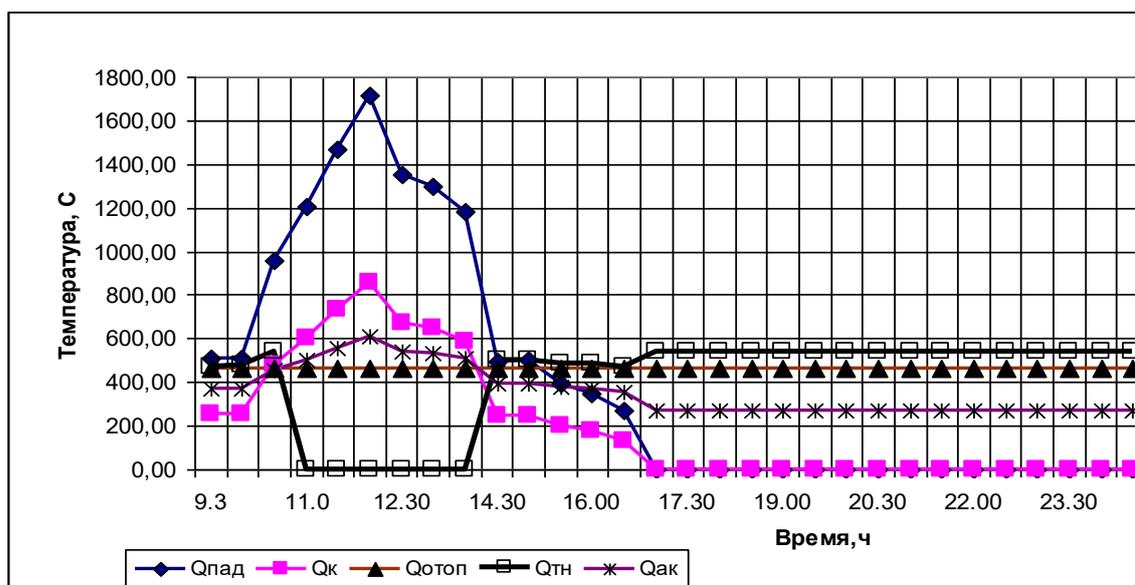


Рис.5. Суточные графики изменения тепловых мощностей элементов КСТНУ.

Проведенный анализ полученных результатов показал, что в дневное время от 11.00 - 14.00 часов тепловая мощность коллектора Q_k увеличивается (при $T_n = 33,87-35,86$ °C), тогда возможен нагрев помещения непосредственно от солнечного коллектора. От 14 часов до 11 часов утра следующего дня в работу включаются все остальные элементы (ТН, АБ, ДИЭ) в КСТНУ по режиму работы системы. При этом КСТНУ работает с коэффициентом преобразования энергии 2,66 - 4,57, а потребление электрической энергии для привода ТН снижается до 1,6 кВт.

Изменения тепловой мощности КСТНУ в зависимости от температуры подачи теплоносителя показаны на рис.6. Увеличение тепловой мощности КСТНУ происходит за счет приращения температурного потенциала теплоносителя в СК или за счет АБ, позволяющего сместить точку равновесия «а» (когда $Q_{тн} = Q_{п}$) в сторону возможности работу КСТНУ в условиях более низких температур наружного воздуха (приращение $Q_{п}$ по линии а-а'). Кривые теплопроизводительности $Q_{тн} = f(T_n)$ и теплопотерь $Q_{п}$ помещения пересекаются при значении температуры наружного воздуха -5 °C, т.е. эта точка является рабочей точкой для случая, когда в испаритель подается наружный атмосферный воздух. Следовательно, расширяется диапазон работы системы во времени и экономно расходуется электрическая энергия для привода ТН.

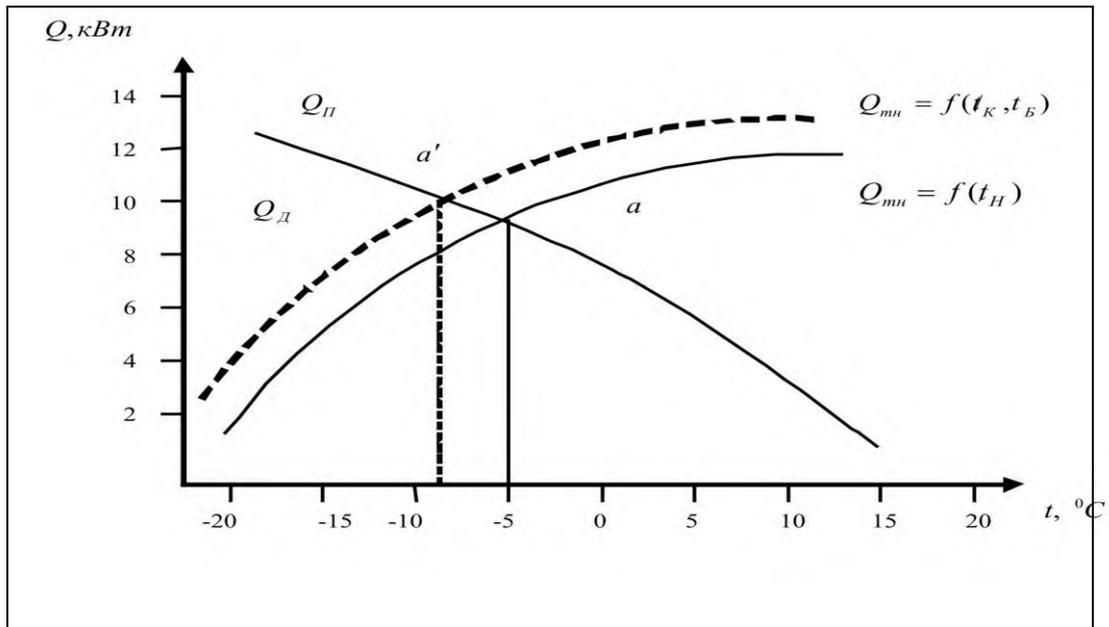


Рис.6. Увеличение теплопроизводительности КСТНУ

Результаты исследования показывают, что выбранные параметры солнечно-воздушного коллектора и установленный режим его работы повышают коэффициент преобразователя системы до 5 - 7.

Для оценки эксерго - энергетических показателей КСТНУ рассмотрим ее функциональную схему, которая представляет собой ряд последовательно - параллельно соединенных элементов. Одна ветвь системы состоит из: солнечно-воздушного коллектора и галечного бака - аккумулятора, вторая содержит конденсатор, испаритель, воспринимающий теплоту атмосферного воздуха (Q_o), компрессор, потребляющий электрическую энергию (Q_k), который сжимает парообразный хладагент и подает его в конденсатор.

КПД данной системы:
$$\eta_{кстну} = \frac{Q_n}{Q_n + Q_o + \eta_k \cdot J \cdot F} \quad (17)$$

С учетом $\varphi = \frac{Q_n}{Q_k}$, КПД системы:
$$\eta_{кстну} = \frac{\varphi}{\frac{Q_n}{Q_k} + 1 + \frac{Q_{cэ}}{Q_k}} \quad (18)$$

Полученное выражение показывает связь между КПД солнечной части $\eta_{cэ}$ и КПД теплонасосной установки $\eta_{тн}$:

$$\eta_{cэ} = \frac{Q_{cэ}}{J \cdot F} \quad (19)$$

$$\eta_{тн} = \frac{Q_n}{Q_o + Q_k} \quad (20)$$

С учетом $\varphi = \frac{Q_n}{Q_k}$, получим:
$$\eta_{ми} = \frac{\varphi}{\frac{Q_o}{Q_k} + 1} \quad (21)$$

В общем, с учетом $z = \frac{O_o}{O_k}$, имеем:
$$\eta_{\text{мин}} = \frac{\varphi}{z+1}. \quad (22)$$

Последнее выражение позволяет отследить связь КПД установки $\eta_{\text{КСТНУ}}$ с его коэффициентом преобразования φ (Рис.7) и соотношением величин энергии подводимого от низкопотенциального источника к компрессору (Рис.8).

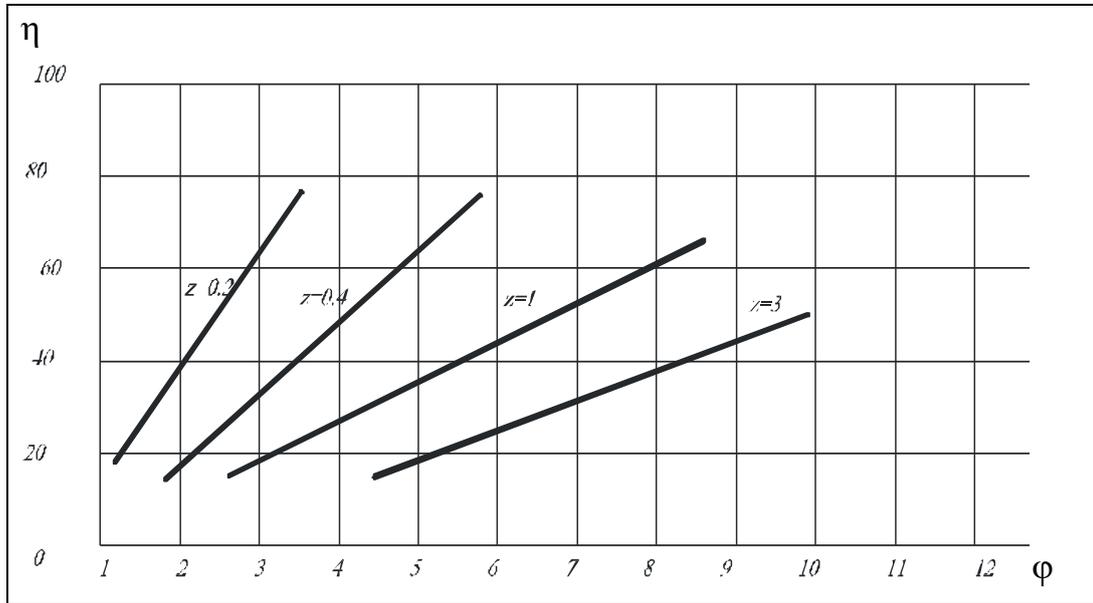


Рис.7. График зависимости $\eta_{\text{КСТНУ}}$ от φ

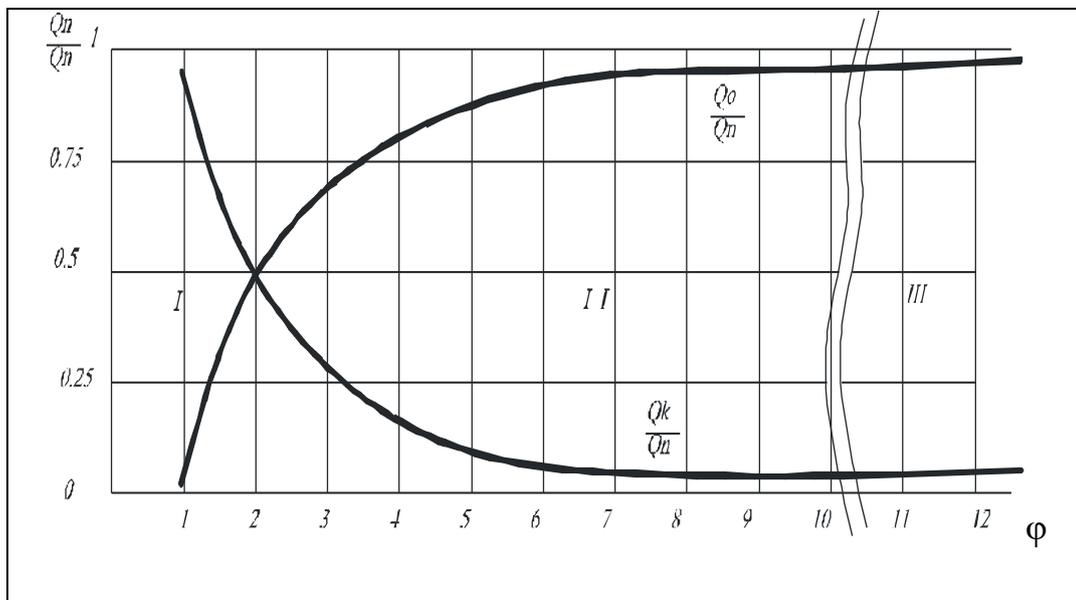


Рис.8. Представление рациональных областей существования КСТНУ

Как видно из графика (Рис.7), увеличение φ приводит к росту КПД $\eta_{\text{кстну}}$, т.е. вне зависимости от режимов работы установки и ее технических характеристик отношение $\eta_{\text{кстну}}$ и φ есть величина прямо пропорциональная. Причем увеличение $\eta_{\text{кстну}}$ происходит тем интенсивнее, чем меньше значение Z . Это означает, что система работает более эффективно, при более высокой температуре низкопотенциального источника и большей подводимой мощности к компрессору.

Для оценки рациональных областей работы КСТНУ обратимся к диаграмме (Рис.8), где в относительных величинах к полезной энергии $Q_{\text{п}}$ показано изменение энергий, подводимых к компрессору $Q_{\text{к}}$, и низкопотенциального тепла $Q_{\text{н}}$ в зависимости от φ .

На представленных диаграммах, видны явно выраженные три зоны:

I зона, где $1 \leq \varphi \leq 2$;

II зона, где $2 \leq \varphi \leq 6$;

III зона, где $6 < \varphi < \infty$

Зона I. В этой области доля энергии, подводимой к компрессору, достаточно велика и практически использование такого сложного устройства КСТНУ в этой области не имеет смысла. Значительно выгодней в этой области для нужд теплоснабжения использовать традиционный электронагреватель.

Зона III, наоборот, характеризуется большой величиной $Q_{\text{н}}$ и, как следствие, коэффициент преобразования велик. В этом случае тепловой насос практически трансформируется в обычный рекуперативный теплообменник, и здесь также нет смысла использовать КСТНУ.

Зона II является наиболее привлекательной и выгодной для работы ТН, при которой получается наибольший эффект от использования КСТНУ.

Этот вывод подтверждается при проектировании ТН с $\varphi = 3 - 5$, что чаще всего и встречается в практике.

Четвертая глава. Цель экспериментального исследования является определение в натуральных условиях эксплуатационных характеристик действующего образца КСТНУ. Опытный образец КСТНУ был изготовлен на заводе «Сантехма» (Рис.9а) и установлен на полигоне лаборатории СПЭВИ института автоматики и информационных технологий НАН КР (Рис.9б)

Экспериментальный стенд состоит из: солнечно - воздушного коллектора с площадью поверхности $2,4\text{м}^2$; бака - аккумулятора теплоты с галечными насадками емкостью $0,6\text{м}^3$; соединительного воздуховода и комплекса измерительных приборов. Ориентация солнечно - воздушного коллектора южная. Измерение интенсивности солнечной радиации производится пиранометром марки М - 80М, № 1960 с гальванометром типа ГСА - 1. Измерение температуры теплоносителя предусматривается с помощью хромель-копелевых термопар, работающих в комплексе с потенциометром КСПУ многоканальным, и измерение

температуры наружного воздуха - с помощью потенциометра КСПУ
одноканального (Рис.10).

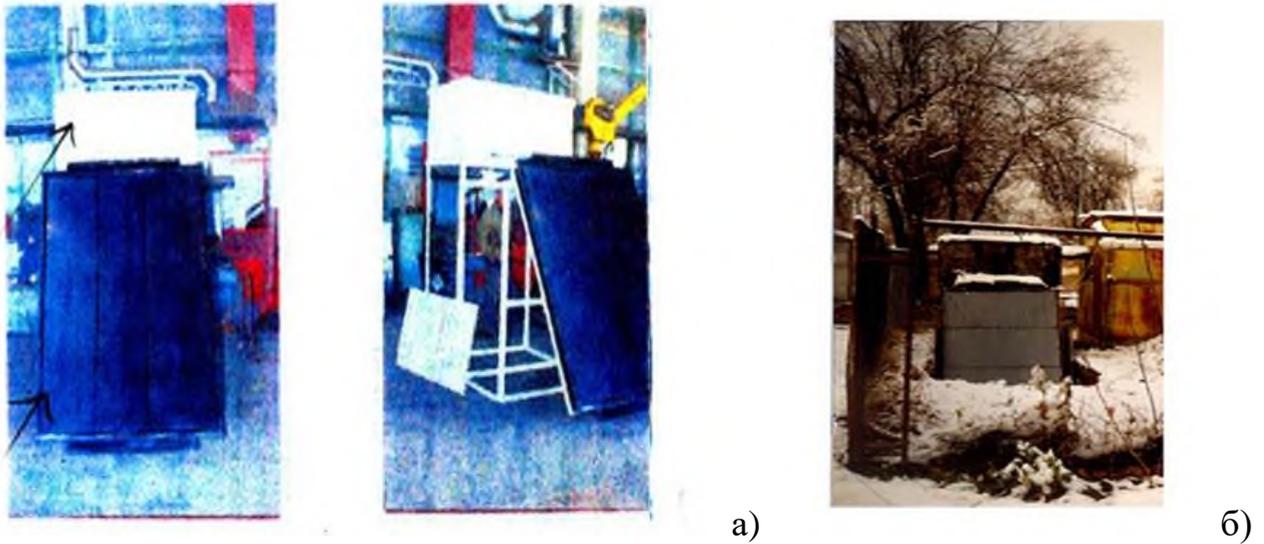


Рис.9. ОПЫТНЫЙ образец КСТНУ

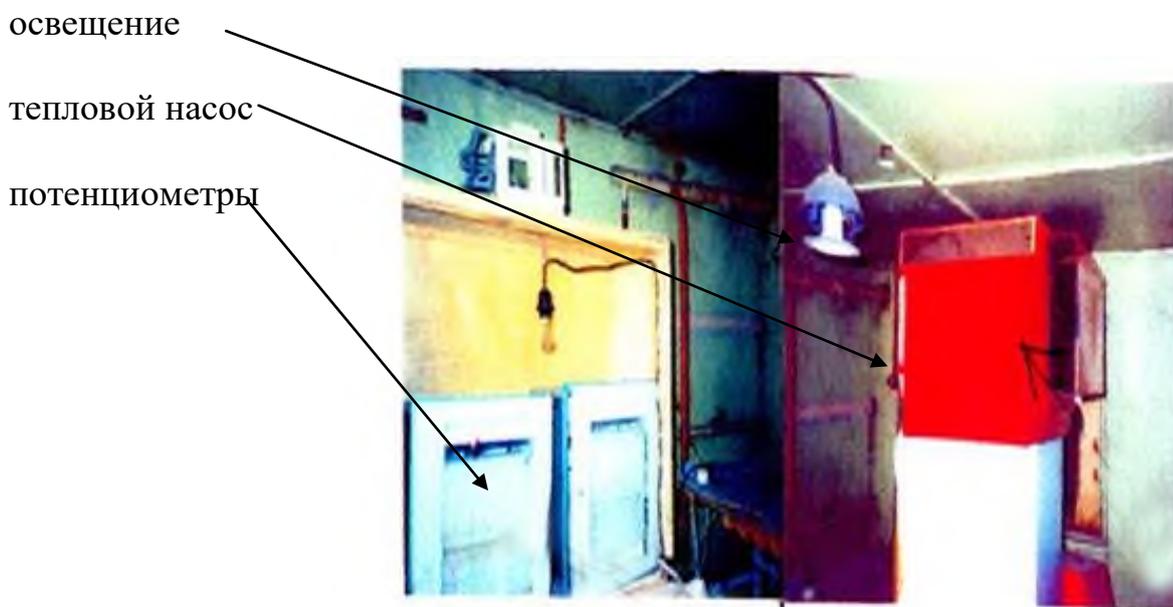


Рис.10. Тепловой насос и приборы КСП в помещении

Ниже на рис.11 показаны измерения температуры теплоносителя на конденсаторе и на испарителе ТН в помещении.

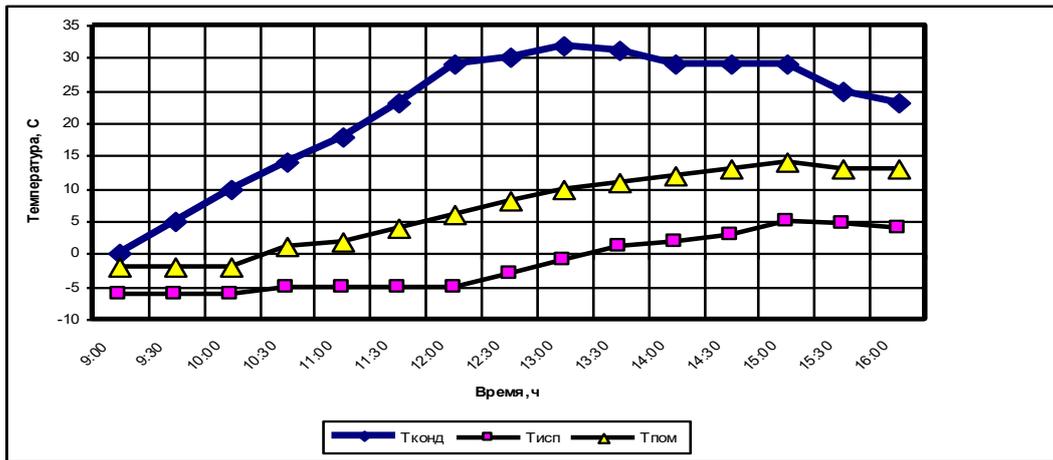


Рис.11. Изменение температур: теплоносителя на конденсаторе $T_{\text{конд}}$, на испарителе $T_{\text{исп}}$ ТН, воздуха в помещении $T_{\text{пом}}$.

Как видно (рис.11), в течение дня температура воздуха на выходе из испарителя изменяется от -9 до 4 °С, а на конденсаторе - от 0 до 30 °С, температура в помещении повышается до 15 °С. Невысокое значение температуры воздуха в помещении связано с большими теплотерями через пол, тонкие стены и потолок передвижного вагон - дома.

В зимне-весенние периоды 1999-2000 г. проводились экспериментальные измерения параметров низко потенциального источника для теплового насоса типа “воздух-воздух”. График суточных изменений температур наружного воздуха $T_{\text{н}}$, и воздуха на выходе из коллектора $T_{\text{к}}$ и в баке- аккумуляторе $T_{\text{б}}$ приведен на рис.12.

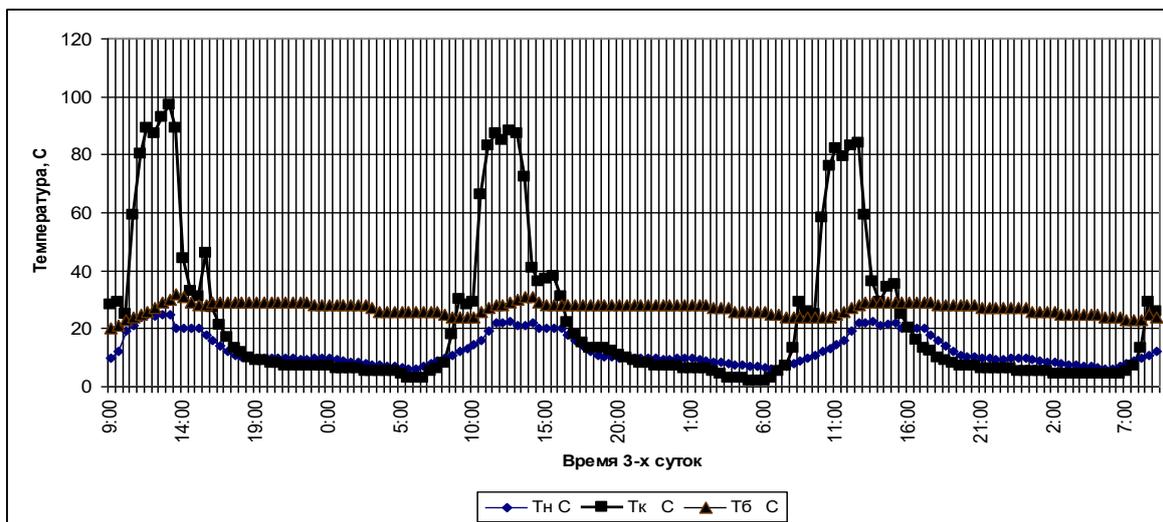


Рис.12. Динамика изменения температур элементов КСТНУ в течение трех суток.

Как видно (рис.12), в течение трех суток температура теплоносителя в баке – аккумуляторе стабильно держится до 30 °С, следовательно, такой режим работы аккумулятора обеспечит эффективную работу установки.

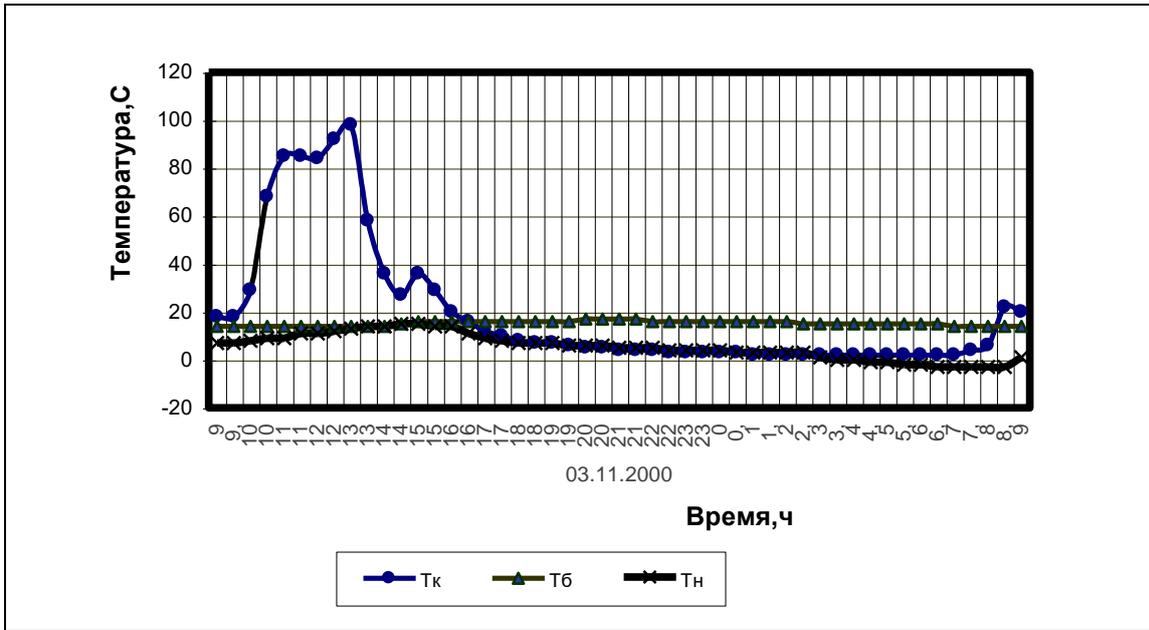


Рис.13. Характерные диаграммы изменения температуры низкопотенциального источника энергии подаваемого на испаритель в течение суток

Как видно из графика, рис.13, температура воздуха в коллекторе в 14.30 часов дня нагревается до $T_k = 98^{\circ}\text{C}$, и направляется для зарядки аккумулятора тепла и снижается до 3 - 4 $^{\circ}\text{C}$ в ночное время, обеспечивая стабильный режим работы в баке-аккумуляторе, сохраняя температуру в пределах $T_b = 20\text{-}30^{\circ}\text{C}$ круглосуточно.

На рис.14. показаны возможные варианты изменения коэффициента преобразования установки в течение суток в зависимости от режима работы.

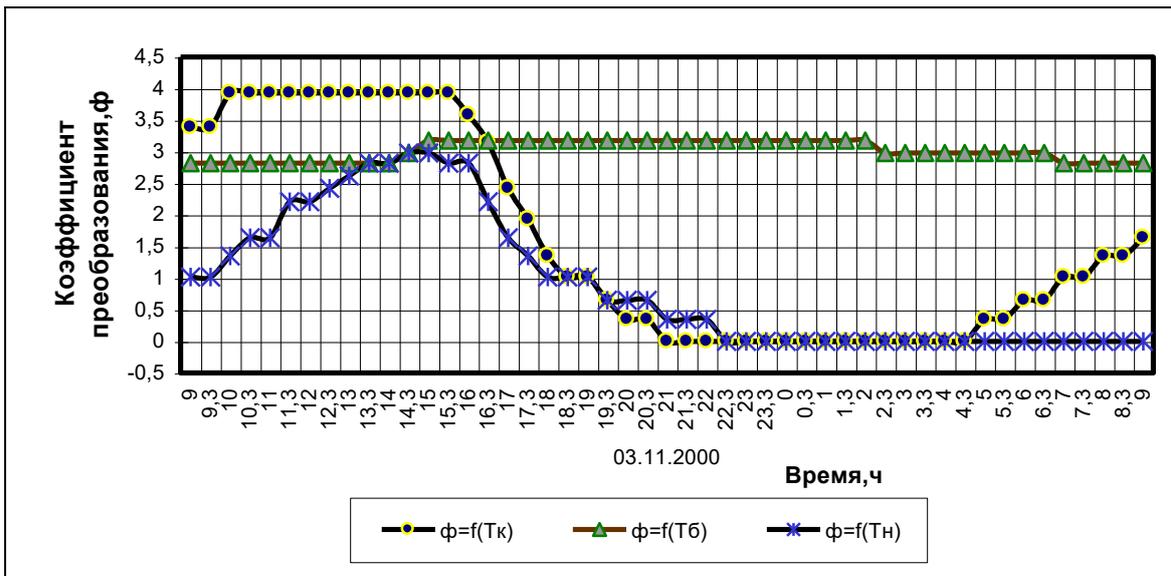


Рис.14. Характерные диаграммы изменения коэффициента преобразования в течение суток.

Как показывает анализ полученных результатов, коэффициент преобразования КСТНУ существенным образом зависит от температуры низко - потенциального источника на испарителе (Рис.14). Причем, при достаточно высоких температурах коэффициент преобразования достигает своего максимального значения φ , равного 4, и резко снижается, достигая нуля, при понижении температуры. Из диаграммы также можно видеть, что наиболее стабильный режим работы системы, когда источником низко потенциального тепла является воздух на выходе из аккумулятора. В этом случае относительно стабильная температура воздуха на выходе из аккумулятора ($t_6 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$) обеспечивает достижение коэффициента преобразования φ , равного 3.

Натурные экспериментальные исследования показали, КСТНУ работает на источниках энергии: наружного атмосферного воздуха с возможным температурным полем $4\text{-}20 \text{ }^\circ\text{C}$, нагретого воздуха в коллекторе под влиянием солнечной радиации $20\text{-}98 \text{ }^\circ\text{C}$ и аккумуляированного до температуры $20\text{-}30 \text{ }^\circ\text{C}$ (Рис.13), при этом требуемые значения температуры приточного воздуха в помещения $t_{п}$, $35 \text{ }^\circ\text{C} < t_{п} < 45 \text{ }^\circ\text{C}$ [4] и рециркуляционного воздуха $12\text{-}25 \text{ }^\circ\text{C}$, согласно заданному режиму работы.

При этом, как заметно, температурное поле окружающей среды неоднородно по месту и времени как вне, так и внутри источника потребления, из-за неравномерного распределения солнечной радиации на поверхности земли, зависящей не только от географических, но также от различных атмосферных условий, особенно от облачности. Тем не менее, воздух есть везде и всегда, и является доступным источник энергии, а при использовании солнечной радиации для нагрева воздуха в коллекторе и аккумуляировании ее галечных насадках увеличивается температурный уровень и эффективность КСТНУ.

Результаты экспериментальных исследований показывают: возможность непосредственного отопления помещений солнечно-воздушными коллекторами в переходной период времени года; коэффициент преобразования установки существенным образом зависит от температуры низкопотенциального источника энергии на испарителе; возможность регулирования коэффициента преобразования в системе в зависимости от выбора режима ее работы.

Использование источника низкопотенциального тепла с высоким температурным уровнем обеспечивает высокий коэффициент преобразования КСТНУ благодаря небольшой разности температур между источником тепла и тепловым насосом.

Представление, понятия об энергетической эффективности КСТНУ [12] по сравнению с другими вариантами теплоснабжения дает их сопоставление по степени использования первичной энергии. Графическое изображение расчета годового расхода первичной энергии для КСТНУ и для других видов типов традиционного отопления мощностью 10 кВт с общегодовой потребностью тепловой энергии $100\text{МВт}\cdot\text{ч}/\text{год}$ приведено на рис.15.

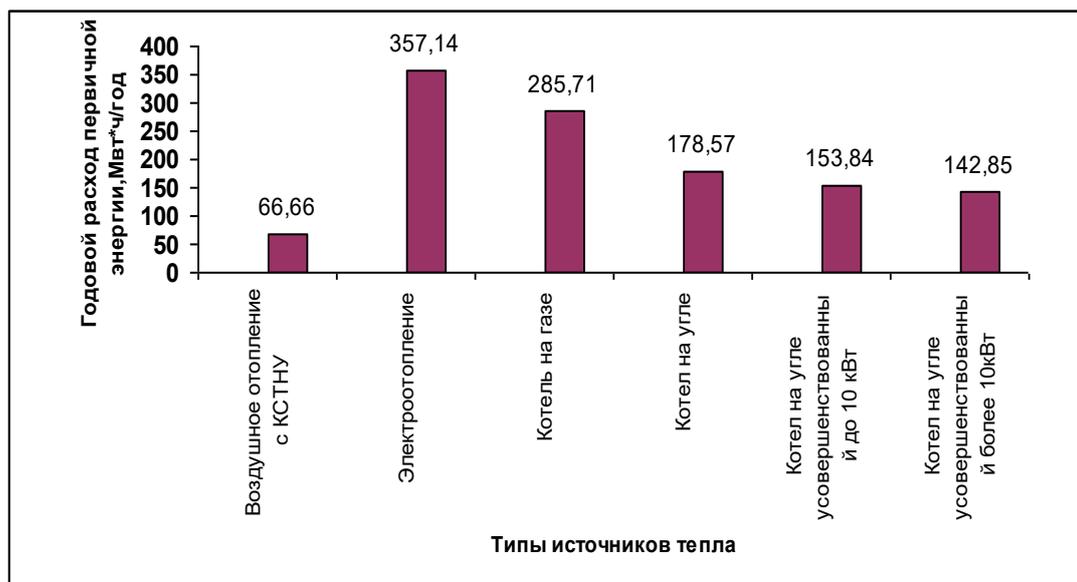


Рис.15. Расход первичной энергии КСТНУ и других источников тепла.

Как видно из рис.15, годовой расход первичной энергии (66,66 МВт·ч/год) для КСТНУ в 5 раз меньше, чем для электроотопления (357,14 МВт·ч/год).

При выпуске заводом - изготовителем КСТНУ в количестве 100шт. сбережение традиционных энергоресурсов составит 17,14 тысяч т.у.т/год.

За счет солнечной энергии в среднем замещается 40-60% тепловой нагрузки потребителя [5, 6]. Солнечную часть установки можно использовать в современных системах кондиционирования воздуха.

Использование установки мощностью 10 кВт дает годовой экономический эффект 30000 сом/год.

КСТНУ позволят сократить расход энергетических ресурсов в секторе индивидуальных потребителей энергии в отрасли народного хозяйства республики в 3 раза, приумножая резервы потребления энергии населением на 40%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Синтезирована новая принципиальная схема КСТНУ для малоэнергоемких потребителей, новизна которой защищена патентом.
2. Разработаны методы расчета основных параметров КСТНУ, в том числе графо-аналитический, позволяющий определить основные параметры солнечно-воздушного коллектора.
3. Определена наиболее рациональная область использования КСТНУ по энерго-экономическим показателям.
4. Разработана методика экспериментальных исследований, создан действующий образец, установлен как экспериментальный стенд и испытан.

5. Разработан проект внедрения КСТНУ в производство. Солнечную часть рекомендуется использовать в современных системах кондиционирования воздуха. При этом за счет установки замещается 40-90% тепловой нагрузки потребителя.
6. Результаты работы используется Кыргыз НИИП сейсмостойкого строительства и КНИИП градостроительства при разработке проектно - сметной документации для различных объектов строительства.
7. Годовой экономический эффект от использования КСТНУ мощностью 10 кВт составляет 30000сом.

Основные положения изложены в следующих работах:

1. Бердыбаева М.Т., Обозов А.Дж., Боронбаев Э.К. Комбинированная солнечно-теплонасосная установка /Вестник института автоматики НАН КР: г. Бишкек, 1996.- С. 197 - 207.
2. Обозов А.Дж., Бердыбаева М.Т. Энергосбережение при использовании солнечно - теплонасосных установок в зданиях. //Техноген - 54. Выставка и научно - техническая конференция по переработке техногенных образований. Екатеринбург, Официальный каталог. Тез. докл. Екатеринбург, 1997. - С.78.
3. Бердыбаева М.Т., Обозов А.Дж., Михайлюк А.С. Графоаналитический метод определения оптимальных теплотехнических параметров солнечного воздухонагревателя в комбинированных солнечно - теплонасосных установках /Вестник института автоматики НАН КР. Бишкек, 1998. - С.206-213.
4. Бердыбаева М.Т. Результаты моделирования и экспериментальных исследований процессов преобразования энергии в КСТНУ – 1,5 /Международный семинар «Российские технологии для индустрии». IWFR1' 2001. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Тез. докл. СПб: Изд-во СПбГТУ, 2001.- С.123-125.
5. Бердыбаева М.Т. Система солнечного отопления с тепловым насосом //Центральноазиатско - Европейская конференция по использованию солнечной энергии 23-24 сентября 2003, Ташкент, Узбекистан. Тез. докл. Агентство по трансферу технологий при ЦНТ РУз, 2003.- С.50 - 51.
6. Бердыбаева М.Т. Проектное предложение на внедрение комбинированных систем солнечно-воздушного отопления с тепловым насосом. //40лет в большой энергетике. Юбилейный сборник научных трудов Кыргызского Научно – технического центра по энергетике «Энергия», Бишкек -2003. - С.213-217.
7. Бердыбаева М.Т. Обозов А.Ж. Расчет теплового насоса на основе бытового кондиционера БК-1500 для систем солнечно- воздушного отопления. Проблемы автоматики и управления - Бишкек, Нац. АН, 2004. - С. 165-170.
8. Бердыбаева М.Т. Методика расчета комбинированных систем солнечно-

- воздушного отопления зданий. Проблемы автоматики и управления - Бишкек, Нац. АН, 2004.- С.183-188.
9. Бердыбаева М.Т. Особенности применения комбинированной солнечно - теплонасосной установки для отопления здания //Доклады междунаро. научно – практического семинара «Физико - химические основные преобразования солнечной энергии» /Под ред. акад. Н.К. Надирова. Алматы, 2006. - С.102 – 107.
10. Патент №77. А.с. SU № 1506242, кл. F 24 J 2/42, 1989. Система солнечно-воздушного отопления. /Бердыбаева М.Т., Обозов А.Дж.-бс.: ил.
11. Бердыбаева М.Т. Перспективы использования комбинированных солнечно-теплонасосных установок для малоэнергоёмких потребителей. //Международный научный журнал «Наука. Образование. Техника» Материалы международной научно-технической конференции «Современное состояние и актуальные проблемы развития энергетики» г. Ош, 2008. - С.240 - 243.
12. Бердыбаева М.Т. Энергетическая эффективность комбинированной солнечно- теплонасосной установки //Нефть и газ. Алматы, 2009. №4.- С. 81-87.

РЕЗЮМЕ

диссертации Бердыбаевой Макен Толобаевны на тему «Комбинированные солнечно - теплонасосные установки» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.08 – Энергоустановки на основе возобновляемых видов энергии.

Ключевые слова: тепловые насосы; солнечно-воздушный коллектор; аккумуляторы с твердыми насадками; дополнительный источник тепла; солнечная радиация; коэффициент преобразования энергии; КПД установки; комбинированная солнечно - теплонасосная установка.

В диссертационной работе разработаны научно- обоснованные методы расчета и конструирования КСТНУ для энергоснабжения малоэнергоёмких потребителей. Решен ряд задач, связанных с синтезом новой схемы КСТНУ, на которую был получен патент

Разработаны методы расчета параметров КСТНУ, в т.ч. графо – аналитический метод расчета и выбора теплотехнических параметров солнечного преобразователя энергии низкопотенциального тепла. Определены рациональные области использования КСТНУ и выявлена аналитическая взаимосвязь коэффициента преобразования ϕ и КПД ТН. Созданы прикладные программы расчета установки. Разработан действующий образец КСТНУ, обсуждаются результаты экспериментальных исследований

РЕЗЮМЕ

Бердыбаева Макен Толобаевнын 05.14.08 – Энергиянын тугонгус булактарынын негизиндеги энергожабдыктар адистиги боюнча техника илимдеринин кандидаты даражасына изденууге «Кундун нурун колдонгон жылуулук беруучу жабдык» темасындагы диссертациясына берилет

Чечуучу создор: жылуулук насосу; кун-аба коллектору; таштуу аккумулятор; кошумча жулуулук очогу; кун энергиясы; энергиянын турун озгортуу коэффициенти; жабдыктын пайдалуу аракетенуу коэффициенти; кундун нурун колдонгон жылуулук беруучу жабдык(КЖЖ).

Бул иште КЖЖ эсептоо, конструкциялоо, чакан керектоочулорду энергия менен камсыздандыруусу каралган. Анын жаныча схемасын тузуудо, бир катар масалелер чечилген жана бул жабдыкка патент алынган.

КЖЖнын параметрлерин эсептоо, ошонун ичинде кун коллекторун сызма-аналитика методу менен эсептоосу каралган. КЖЖнын рационалдуу иштоо областы жана жылуулук жабдыгынын энергиянын турун озгортуучу коэффициенти φ менен пайдалуу аракетенуу коэффициентинин η ортосундагы аналитикалык байлыныш такталган. Жабдыкты эсептоо программасы тузулгон. КЖЖнын иштоочу улгусу орнотулган жана эксперименталдык изилдоолордун натыйжасы талкууланат

SUMMARY

for the thesis of Berdybaeva Maken Tolobaevna on the theme "Combined solar heat pumping installations" for academic degree of Candidate of Science
Specialty 05.14.08 – Power installations based on renewable energy.

Keywords: heat pumps; solar-air collector; accumulators with hard attachments; additional source of heat; solar radiation; coefficient of conversation of energy; efficiency installations; combined solar heat pumping installations (CSHPI).

In the thesis the science-grounded methods of calculation and constructing of combined solar heat pumping installations for energy supply of low-power capacity users are developed. A number of problems connected with synthesis of new CSHPI scheme for which the patent was received are solved.

The methods of calculation of CSHPI parameters are worked out including grapho-analytical method of calculation and selection of heat engineering parameters of solar converter of low-grade heat energy. Rational areas of CSHPI use are determined and analytical interconnection of transformation coefficient φ and coefficient of efficiency HP is revealed. Application programs of installation calculation are developed. Operating standard of CSHPI is worked out; results of experimental researches are discussed.

Подписано к печати 17.03.2010г. Формат бумаги 60x84¹/₈.
Бумага офс. Печать офс. Объем 2,0 п.л. Тираж экз. Заказ
г.Бишкек, ул, Сухомлинова, 20. ИЦ “Текник” КГТУ, т.: 54-29-43
E-mail: beknur@mail.ru