

На правах рукописи



**Кириченко Анна Сергеевна**

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОМБИНИРОВАННОЙ  
СИСТЕМЫ СОЛНЕЧНОГО ТЕПЛО- И ХОЛОДОСНАБЖЕНИЯ**

05.14.08 - энергоустановки на основе возобновляемых видов энергии

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Москва - 2015

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Кубанский государственный аграрный университет» (КубГАУ), г. Краснодар

*Научный  
руководитель:*

**Амерханов Роберт Александрович,**  
доктор технических наук, профессор

*Официальные  
оппоненты:*

**Юдаев Игорь Викторович**  
доктор технических наук, доцент  
Азово-Черноморский инженерный институт  
ФГБОУ ВПО «Донской государственный аграрный  
университет» г. Зерноград

**Трушевский Станислав Николаевич**  
кандидат технических наук, старший научный со-  
трудник ФГБНУ «Всероссийский научно - иссле-  
дователь-ский институт электрификации сельского  
хозяйства» г. Москва

*Ведущая  
организация:*

ФГБНУ ВПО «Южно - Российский государст-  
венный политехнический университет (НПИ) име-  
ни М.И. Платова» г. Новочеркасск.

Защита диссертации состоится «13» октября 2015 г. в 9<sup>30</sup> часов на заседа-  
нии диссертационного совета Д 006.037.01, созданного на базе Федерального  
государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский науч-  
но- исследовательский институт электрификации сельского хозяйства» по  
адресу: 109456, г. Москва, 1-й Вешняковский проезд, д.2.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБНУ  
ВИЭСХ (<http://viesh.ru>).

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2015 г. и размещен в библиотеке и  
на сайте ФГБНУ ВИЭСХ (<http://viesh.ru>).

Ученый секретарь  
диссертационного совета



Некрасов Алексей Иосифович

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА**

**Актуальность.** Одной из наиболее актуальных проблем современности является экономия энергетических ресурсов, как в быту, так и в производственных процессах агропромышленного комплекса. Причиной тому явились существующие тенденции истощения топливно-энергетических ресурсов, роста затрат на производство энергии и глобальные экологические проблемы.

Одним из эффективных средств экономии топливных ресурсов и защиты окружающей среды является широкое использование солнечных, а так же комбинированных на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ) систем энергоснабжения, которые с наименьшими потерями дают возможность в комплексе решать острые проблемы энергоснабжения, энергосбережения и охраны окружающей среды, а применение в таких системах тепловых насосов позволяет в полной мере использовать энергию возобновляемых источников и низкопотенциальных выбросов теплоты предприятий.

В России значительный вклад в развитие энергоснабжения и энергосбережения с использованием солнечных и комбинированных на основе ВИЭ установок внесли: Стребков Д.С., Бородин И.Ф., Попель О.П., Безруких П.П., Соловьев А.А., Елистратов В.В., Виссарионов В.И., Шпильрайн Е.Е., Торнижевский Б.В., Рустамов Н.А., Томаров Г.В., Васильев Ю.С., Евдокимов В.М., Арбузов Ю.Д., Хрисанов Н.И., Амерханов Р.А., Бутузов В.А., Саплин А.А., Ильин А.К., Шишкин Н.Д., Харченко В.В., Григораш О.В., Тверьянович Э.В., Трушевский С.Н., Юдаев И.В., Агеев В.А., Новгородский Е.Е., Торопов Н.М., и др.

При проектировании и оптимизации современных солнечных тепло-энергетических систем необходимо учитывать множество технических и других видов ограничений. Во многом это объясняется большой сложностью внутренних и внешних связей в таких системах и тенденции к дальнейшему их усложнению. В связи с этим возрастает значимость технико-

экономических исследований по определению оптимальных или близких к оптимальным параметров и структуры комбинированных солнечных тепло-энергетических установок, вида технологической схемы и профиля оборудования на стадиях проектной разработки. При этом, даже частичное решение этой проблемы за счет приближения выбранных характеристик к оптимальным, обеспечивает, как показывают многочисленные исследования, экономический эффект и, что немаловажно, повышает надежность системы.

Диссертационная работа выполнялась в рамках реализации научно-исследовательской работы «Теоретическое обоснование и практическая реализация энергосберегающего оборудования электротехнологий и систем автономного электро- и теплоснабжения сельско-хозяйственных потребителей с использованием возобновляемых источников энергии», номер госрегистрации ГР 01201153641 (2011-2015).

**Цель работы** – обосновать параметры комбинированной системы солнечного тепло- и холодоснабжения индивидуального жилого дома, для создания у потребителя заданных микроклиматических параметров.

**Задачи исследования:**

1. Оценить потенциал возобновляемых источников энергии для условий Краснодарского края и обосновать целесообразность использования комбинированных систем солнечного тепло- и холодоснабжения с его учетом.
2. Разработать структурно-схемное решение тепловой части комбинированной системы солнечного тепло- и холодоснабжения.
3. Разработать схемное решение, позволяющее повысить интенсивность теплоотдачи в тепловом аккумуляторе.
4. Разработать алгоритм, основанный на использовании многомерных матриц энергий, для обоснования параметров комбинированной системы и, соответствующие этому алгоритму рекомендации энергетических и техни-

ческих параметров, позволяющий определить оптимальную конструктивно-технологическую схему исходя из заданного критерия (минимальный размер, трудоемкость, материалоемкость и т.д.)

5. Исследовать режимы работы системы для различных погодноклиматических условий и разработать алгоритм управления работой комбинированной системы солнечного тепло- и холодоснабжения.

6. Разработать устройство управления комбинированной системой солнечного тепло- и холодоснабжения.

7. Обосновать выбор параметров системы с учетом минимизации капитальных затрат и провести расчет экономической эффективности использования комбинированной солнечной системы тепло- и холодоснабжения для реального объекта (индивидуальный жилой дом) расположенного в Краснодарском крае.

**Объект исследования** – система комбинированного солнечного тепло- и холодоснабжения индивидуального жилого дома в погодноклиматических условиях Краснодарского края.

**Предмет исследования** – энергетические, технические и экономические параметры системы комбинированного солнечного тепло- и холодоснабжения.

**Методы исследования.** При выполнении работы использовались основы теории тепломассообмена, анализа и синтеза, эксергетической и эксергоэкономической оптимизации энергетической системы, математическая обработка результатов исследования проводилась на ПЭВМ с использованием прикладных программ AutoCAD, MathCAD, Microsoft Excel, Arduino IDE.

**Достоверность** научных выводов и рекомендаций базируется на строго доказанных и корректно используемых выводах фундаментальных и при-

кладных наук, а так же предложенных автором новых теоретических положений, которые нашли применение в диссертационной работе.

**Научную новизну работы составляют:**

1. Предложенный подход к структурно-схемному решению системы комбинированного солнечного тепло- и холодоснабжения.
2. Предложенный подход к структурно-схемному решению теплового аккумулятора, способного изменять интенсивность теплообмена.
3. Алгоритм управления работой комбинированной системой солнечного тепло- и холодоснабжения, в зависимости от параметров окружающей среды и нужд потребителя.
4. Методика обоснования технико-экономических параметров комбинированной системой солнечного тепло- и холодоснабжения, использующая многомерные матрицы энергий.

Новизна технических решений подтверждена 3 патентами на полезную модель: RUS № 147281, RUS № 144055, RUS №151929.

**Практическую значимость работы составляют:**

1. Рекомендации по определению технико-конструктивных параметров комбинированной системой солнечного тепло- и холодоснабжения, применимые как для промышленных, так и для жилых объектов.
2. Технические средства для управления работой комбинированной системой солнечного тепло- и холодоснабжения.
3. Рекомендации по проведению экономического анализа комбинированной системы солнечного тепло- и холодоснабжения.

**Положения, выносимые на защиту:**

1. Климатические условия краснодарского края, позволяют использовать комбинированные установки, состоящие из плоских солнечных кол-

лекторов, воздушных и грунтовых тепловых аккумуляторов, для круглогодичного бесперебойного тепло- и холодоснабжения.

2. Предложенные структурно-схемные решения комбинированной системы солнечного тепло- и холодоснабжения позволяет снизить потребление электроэнергии и обеспечить потребителя круглогодичным бесперебойным тепло- и холодоснабжением.

3. Использование аккумулятора предложенной конструкции позволяет повысить надежность работы комбинированной системы в жаркий период года за счет предотвращения перегрева солнечного коллектора путем усиления отбора теплоты от теплоносителя.

4. Разработанное, изготовленное и запрограммированное в соответствии с результатами исследования устройство для управления комбинированной системой солнечного тепло- и холодоснабжения позволяет эффективно управлять параметрами системы для обеспечения потребителя качественным бесперебойным тепло- и холодоснабжением.

5. Методика технико-экономического обоснования параметров комбинированной системы солнечного тепло и холодоснабжения, основанная на многомерных матрицах позволяет, выбрать оптимальную конфигурацию системы по различным критерия (минимизировать затраты на приобретение, монтаж и эксплуатацию системы).

**Апробация работы.** Основные положения и результаты диссертационного исследования докладывались и обсуждались на 8-ми международных и всероссийских конференциях, в том числе: VIII всероссийской научной молодежной школе с международным участием: «Возобновляемые источники энергии» (Москва: МГУ, 2012), VI всероссийской НПК: «Научное обеспечение агропромышленного комплекса» (Краснодар: КубГАУ, 2013), V международной НПК: «Технические и технологические системы» (Краснодар: КубГАУ, 2013), VI всероссийской НПК: «Научное обеспечение агропромышленного комплекса» (Краснодар: КубГАУ, 2014), VI международной

НПК: «Технические и технологические системы» (Краснодар: КубГАУ, 2014), V международной научно-технической конференции молодых ученых и специалистов: «Инновации в сельском хозяйстве» (Москва: ВИЭСХ, 2014), Международной НПК: «Возобновляемая и малая энергетика на сельских территориях, рекреационных зонах и удаленных объектах. Энергосберегающие технологии» (Ростов-на-Дону, 2015), XII Международная конференция: «Возобновляемая и малая энергетика 2015» (Москва, 2015).

#### **Реализация результатов исследования:**

Результаты проведенных исследований использованы при подготовке и издании учебников: «Теплоэнергетические установки и системы» и «Теплогенерирующие и холодильные установки».

Полученные в ходе исследования результаты используются в учебном процессе факультета энергетики КубГАУ.

**По теме диссертации опубликовано** 16 научных работ, в том числе 8 в изданиях рекомендованных ВАК РФ, 4 по материалам конференций, 3 патента РФ на полезную модель.

#### **Структура и объем работы.**

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка использованных источников, включающих 136 наименования, из них 24 - иностранные источники, 6 приложений. Общий объем диссертации: 130 страниц машинописного текста, включая 42 рисунка, 8 таблиц.

### ***СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ***

Во **введении** обоснована актуальность исследований, сформулированы цель и задачи исследований, объект, предмет и методы исследований, науч-



ная новизна, практическая значимость работы и основные положения, выносимые на защиту.

В **первой главе** рассматривается состояние и перспективы развития установок солнечного тепло- и холодоснабжения с использованием теплового насоса на основе возобновляемых источников энергии, а так же особенности работы, достоинства и недостатки комбинированных солнечных установок и систем солнечного кондиционирования воздуха.

Высокие температуры в летний период и большая продолжительность жаркого периода говорят о необходимости проектирования систем сезонного холодоснабжения потребителя. Однако в зимний период средняя температура воздуха не превышает  $+8^{\circ}\text{C}$ , в результате чего сохраняется необходимость проектирования системы теплоснабжения.

Количество поступающей солнечной радиации позволяет использовать плоские солнечные коллекторы в альтернативных системах энергоснабжения.

Высокая длительность безморозного периода и положительные среднегодовые температуры позволяют использовать воздушные тепловые насосы в течение всего года.

Использования ветрогенераторов малой мощности для электроснабжения альтернативных климатических установок возможно на всей территории Краснодарского края.

Использование геотермальной энергии, энергии малых рек и энергии биомассы энергообеспечения альтернативных микроклиматических установок в настоящее время малоперспективно для условий Краснодарского края.

Благодаря государственной поддержке Краснодарский край является перспективным регионом для использования солнечных электро- и тепловых станций не только с климатической, но и с социально-экономической точек зрения.

Для климатических условий Краснодарского края наиболее эффективными представляются комбинированные системы солнечного тепло- и холо-

доснабжения включающие в себя плоский солнечный коллектор, воздушный тепловой насос, бака аккумулятор, абсорбционную холодильную машину, дополнительно могут быть использованы грунтовый тепловой аккумулятор совместно с тепловым насосом, повышающий термотрансформатор и резервный источник теплоснабжения.

**Вторая глава** посвящена разработке систем комбинированного солнечного кондиционирования воздуха с использованием нетрадиционных и возобновляемых видов энергии и рассмотрены особенности аккумулирования теплоты в этих системах.

Для наиболее эффективного использования потенциала комбинированной системы солнечного тепло- и холодоснабжения применяется разделение элементов системы на контуры отдельные циркуляционные контуры при помощи трехходовых кранов и регулирование совместной работы всех элементов системы за счет использования электронного блока управления (рисунок 1).

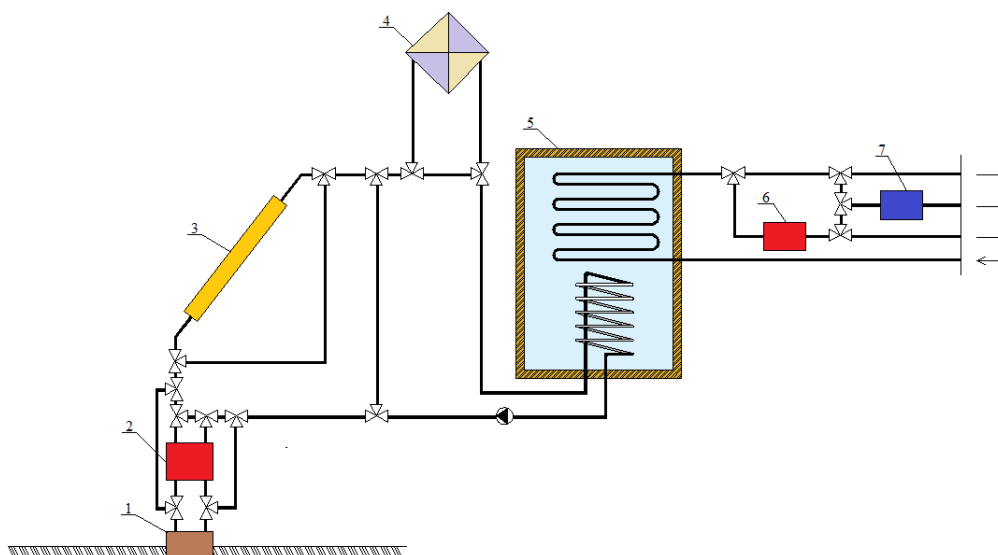


Рисунок 1 - Функциональная схема системы солнечно-теплонасосного теплоснабжения с электронным блоком управления: 1 – скважина-теплообменник, 2 – грунтовый тепловой насос, 3 - солнечный коллектор, 4 – воздушный тепловой насос, 5 – бак аккумулятор, 6 – повышающий термотрансформатор, 7 – абсорбционная холодильная машина.

Для повышения эффективности работы системы за счет предотвращения перегрева солнечного коллектора при помощи усиления отбора теплоты от теплоносителя, была предложена новая конструкция теплового аккумулятора (рисунок 2).

Тепловой аккумулятор работает следующим образом: холодный теплоноситель подается по трубопроводу в нижнюю часть теплового аккумулятора и, проходя по нему, отбирает теплоту у теплоаккумулирующего материала, при этом теплоноситель движется внутри трубок. Вихревые зоны, возникающие на цилиндрических участках за последовательно размещенными на внутренней поверхности трубки конфузурными и диффузурными участками, вызывающие дополнительную турбулентность, которая появляется на границе этих зон, переносится основным течением, увеличивая коэффициент турбулентной теплопроводности на большей длине за турбулизатором. Одновременно с этим включается магнитострикционный вибратор.

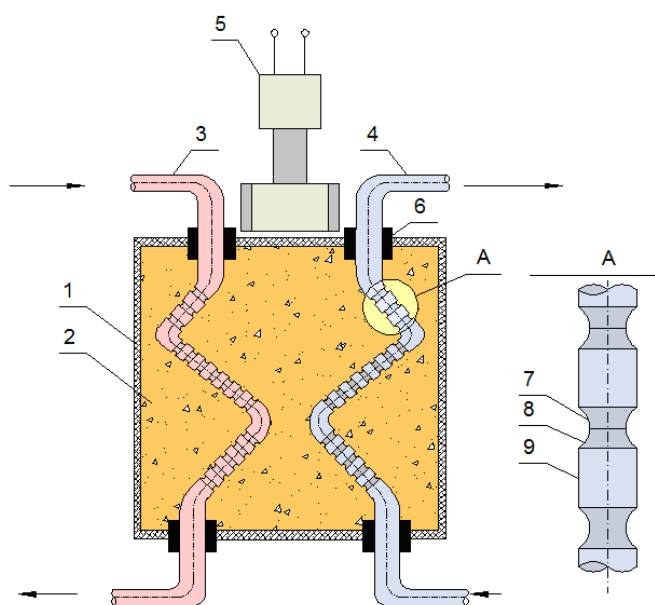


Рисунок 2 - Тепловой аккумулятор с усилением теплообмена: 1 - корпус с изоляцией, 2 - твердый теплоаккумулирующий материал, 3 - подводящий, 4 - отводящий трубопроводы, 5 - магнитострикционный вибратор, 6 - гаситель вибрации, 7 - конфузурный участок, 8 - диффузурный участок, 9 - цилиндрический участок

Регулируя частоту и величину электромагнитных импульсов, подбирают оптимальную величину теплопередачи.

В **третьей главе** проведен теплотехнический расчет установившегося режима работы солнечного коллектора, схема распределения энергии в котором представлена на рисунке 3, для которого примем следующие допущения:

1. Режим работы стационарный
2. Конструкция лучевоспринимающей поверхности – лист-труба
3. Трубки солнечного коллектора обеспечивают равномерное распределение жидкости по трубам.
4. Тепловой поток через прозрачное остекление и нижнюю изоляцию является одномерным
5. Запыление и загрязнение коллектора не учитывается
6. Затенение поглощающей панели не учитывается.

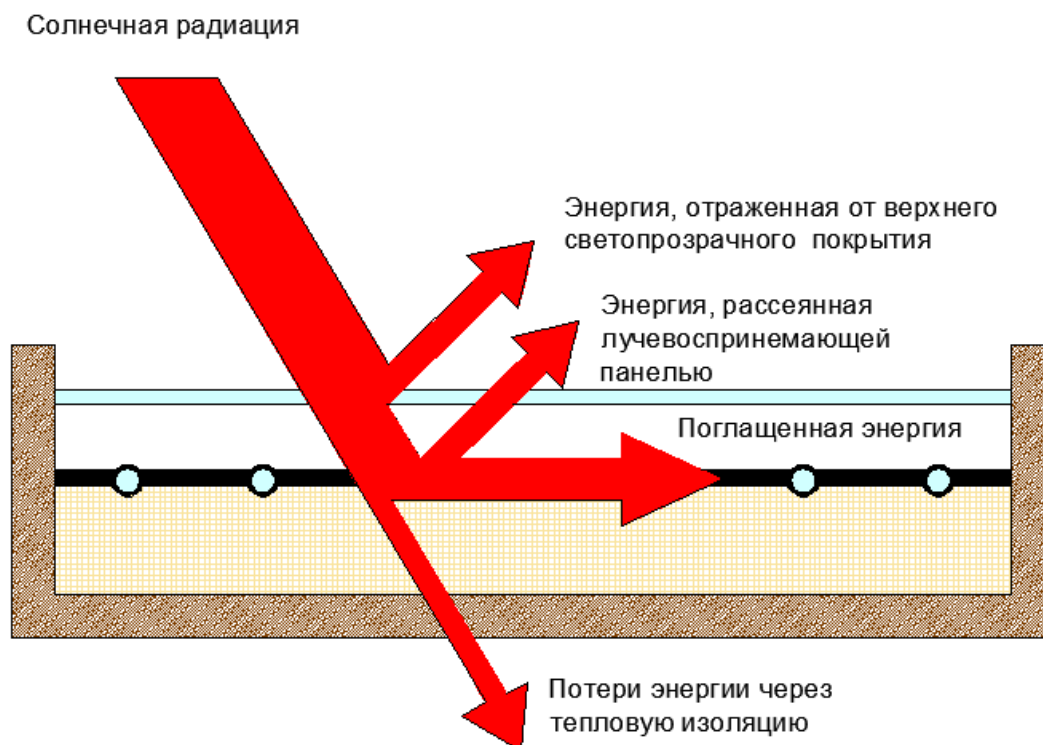


Рисунок 3 – Схема тепловых потоков в солнечном коллекторе

При установившемся режиме энергетический баланс солнечного коллектора имеет вид [оптимизация]:

$$q_{\text{пад}} = q_{\text{погл}} - U_{\text{ск}} \cdot (T_{\text{п}} - T_0), \quad (1)$$

где  $q_{\text{пад}}$  – удельный полный поток солнечной радиации, Вт/м<sup>2</sup>;  $q_{\text{погл}}$  – удельный поглощаемый поток солнечной радиации, Вт/м<sup>2</sup>;  $U_{\text{ск}}$  – коэффициент тепловых потерь солнечного коллектора, Вт/м<sup>2</sup>·К;  $T_{\text{п}}$  – температура лучевоспринимающей пластины, К;  $T_0$  – температура окружающей среды, К.

Равновесная температура лучепоглащающей пластины солнечного коллектора

$$T_{\text{р}} = \frac{\eta_0 \cdot q_{\text{пад}}}{U_{\text{ск}}} + T_0, \quad (2)$$

где  $\eta_0$  – оптический КПД солнечного коллектора.

Тепловые потери:

- при конвективном теплообмене от ограждающих конструкций к окружающей среде

$$q_{\text{к}} = \alpha_{\text{к}} \cdot (T_{\text{ок}} - T_0), \quad (3)$$

где  $\alpha_{\text{к}}$  – коэффициент теплоотдачи,  $T_{\text{ок}}$  – температура ограждающих конструкций.

Потери тепла при теплопередаче.

$$q_{\text{п}} = \frac{1}{K_{\text{ск}}} \cdot (T_{\text{п}} - T_0), \quad (4)$$

где  $K$  – коэффициент теплопередачи.

$$K_{\text{ск}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\text{с1}}} + \frac{\delta_{\text{т}}}{\lambda_{\text{т}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{с2}}}}, \quad (5)$$

где  $\alpha_{\text{с1}}$  – коэффициент теплоотдачи от лучепоглащающей пластины к тепловой изоляции;  $\alpha_{\text{с2}}$  – коэффициент теплоотдачи от тепловой изоляции к окружающей среде;  $\delta_{\text{т}}$  – толщина тепловой изоляции;  $\lambda_{\text{т}}$  – коэффициент теплопроводности тепловой изоляции.

- при лучистом теплообмене через ограждающие конструкции

$$q_{\text{л}} = \alpha_{\text{л}} \cdot (T_{\text{п}} - T_0), \quad (6)$$

где  $\alpha_{\text{л}}$  – коэффициент теплопотерь излучением.

$$\alpha_{\text{л}} = \frac{\varepsilon_{\text{п}} \cdot c_0 \left( \left( \frac{T_{\text{п}}}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_0}{100} \right)^4 \right)}{(T_{\text{п}} - T_0)}, \quad (7)$$

где  $\varepsilon_{\text{п}}$  – степень черноты лучепоглощающей пластины;  $c_0$  – коэффициент излучения абсолютно черного тела.

Суммарные тепловые потери зависят как от температуры пластины, так и от температуры окружающей среды, тогда исходя из (3.3) – (3.7) получим, что суммарные тепловые потери составят:

$$q_{\text{п}} = \left( \alpha_{\text{л}} + \frac{1}{K} \right) \cdot (T_{\text{п}} - T_0), \quad (8)$$

График зависимости тепловых потерь от температуры лучевоспринимающей поверхности плоского солнечного коллектора с одинарным остеклением ( $\varepsilon_{\text{п}} = 0,95$ ,  $\alpha_{\text{к}} = 300 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$ ) при температуре окружающей среды  $15^\circ\text{C}$  представлен на рисунке 4.

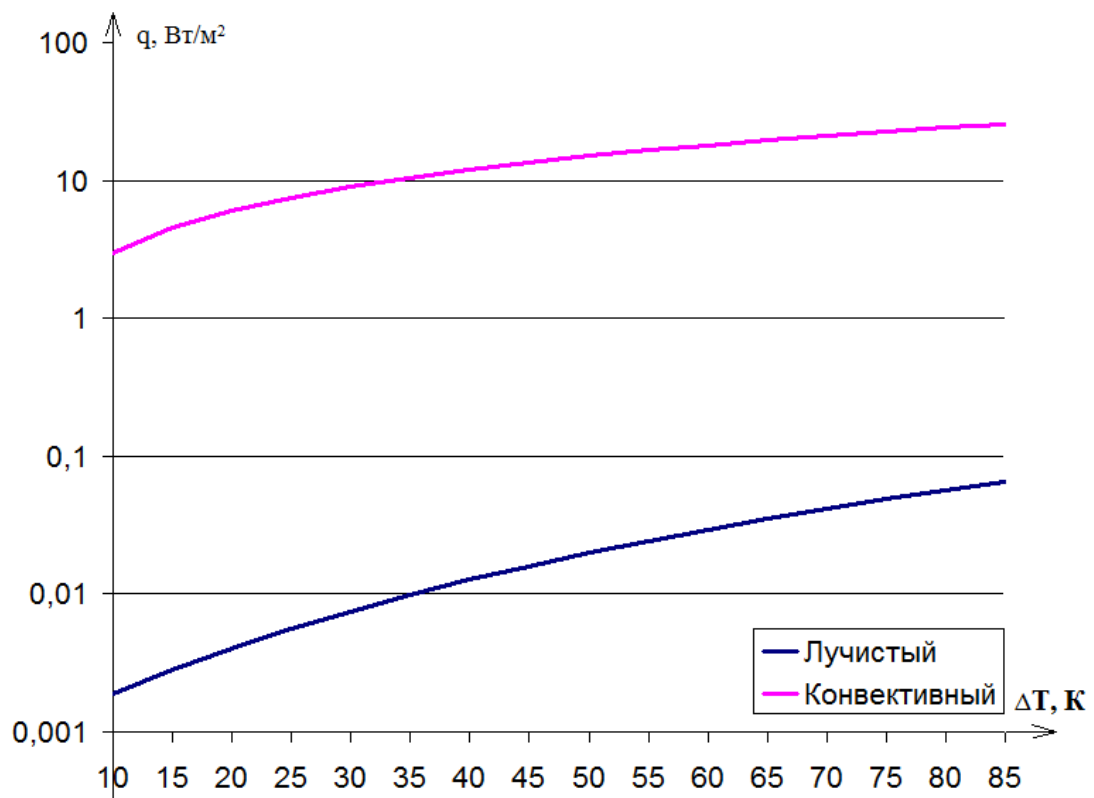


Рисунок 4 – Тепловые потери в солнечном коллекторе

Как видно из графика, при температурах лучевоспринимающей поверхности меньше  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ , тепловые потери лучеиспусканием значительно меньше конвективных тепловых потерь через ограждающие конструкции, поэтому для укрупненных расчетов эффективности ими можно пренебречь.

Потребность в теплоте рассматриваемого индивидуального жилого дома в проселке Витязево, Краснодарский край, представлена на графике (рисунок 5) из которого видно, что в период с мая по октябрь здание нуждается в отведение тепла, а с сентября по май в теплоснабжении.

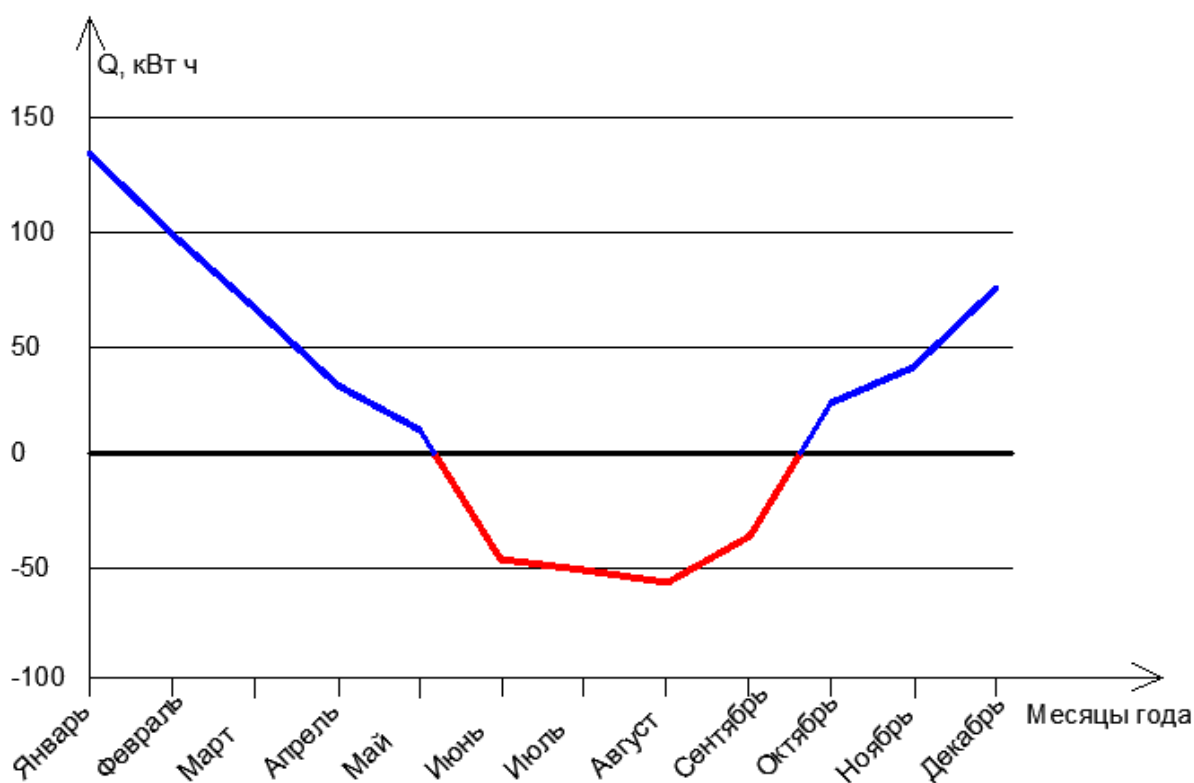


Рисунок 5 – Тепловой баланс здания

Для того чтобы обеспечить здание необходимым количеством тепловой энергии могут применяться солнечные коллекторы, грунтовые тепловые насосы с теплоотдачей от одной скважины  $45\text{ Вт/м}$  и воздушные тепловые насосы.

Алгоритм обоснования параметров комбинированной системы солнечного тепло- и холодоснабжения приведён на рисунке 6.

Параметры установки определяются следующим образом:

Производится выбор количества независимых источников тепловой энергии, и устанавливаются их изменяемые параметры ( $N$ ). После этого определяется потребность здания в тепловой энергии. Затем рассчитывается выработка тепловой энергии с единицы источника, принимается шаг, с которым изменяется доля участия того, или иного источника в тепловом балансе системы и строится  $N-1$  мерная матрица  $A(a_{i,j}, \dots)$ , где  $i, j, \dots$  - энергия вырабатываемая источником (от 0 до максимальной потребности объекта). Задаются параметры оптимизации системы. Строится  $N-1$  мерная матрица  $B(b_{i,j}, \dots)$ , где  $b_{i,j}, \dots$  - ценность системы относительно заданного критерия. Определяется оптимальное, по заданному критерию,  $b_{i,j}, \dots$  и соответствующая ему конструкция комбинированной системы.

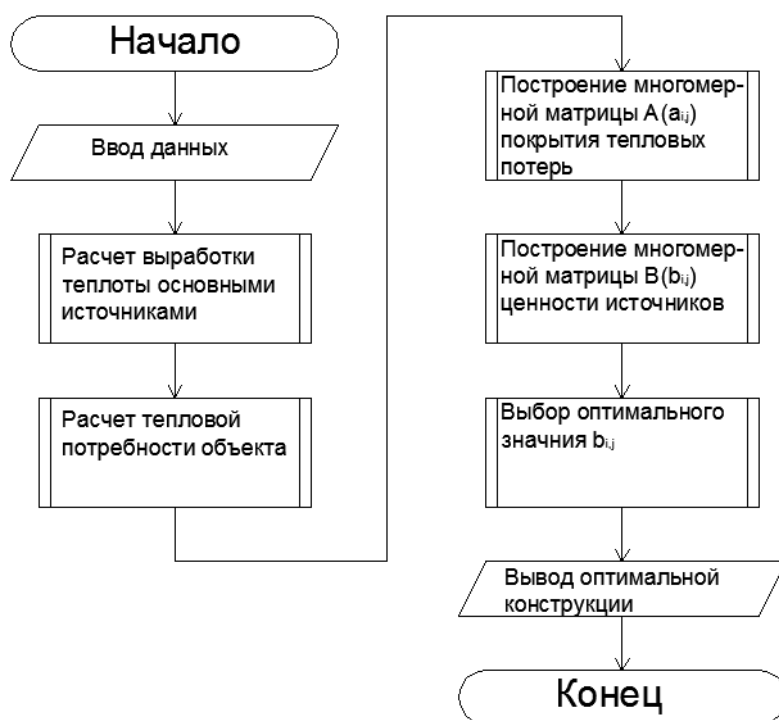


Рисунок 6 – Алгоритм обоснования параметров системы

Площадь, занимаемая элементом системы составляет: СК - 1, 2 м<sup>2</sup>, скважина - 0,6 м<sup>2</sup>, грунтовый теплообменник - 1,6 м<sup>2</sup>. Воздушный тепловой насос занимает от 2,6 м<sup>2</sup> до 4,2 м<sup>2</sup> в зависимости от мощности.



Графически матрица площадей занимаемых системой представлена на рисунке 7.

Минимальную площадь будет занимать система состоящая только из теплового насоса. Но, так как нам необходима комбинированная система, а для ее нормальной работы необходимо не менее двух скважин-теплообменников, а с энергетической точки зрения 4 солнечных коллектора полностью покрывают тепловую нагрузку в летний период, выберем вариант, включающий 2 скважины теплообменника глубиной заложения, оснащенные грунтовым тепловым насосом, 4 плоских солнечных коллекторов с одинарным остеклением, воздушный тепловой насос Nibe мощностью 70 кВт, а так же бак аккумулятора Ariston вместительностью 400 л и абсорбционную холодильную машину, данная установка может быть размещена на площади 10 м<sup>2</sup>.

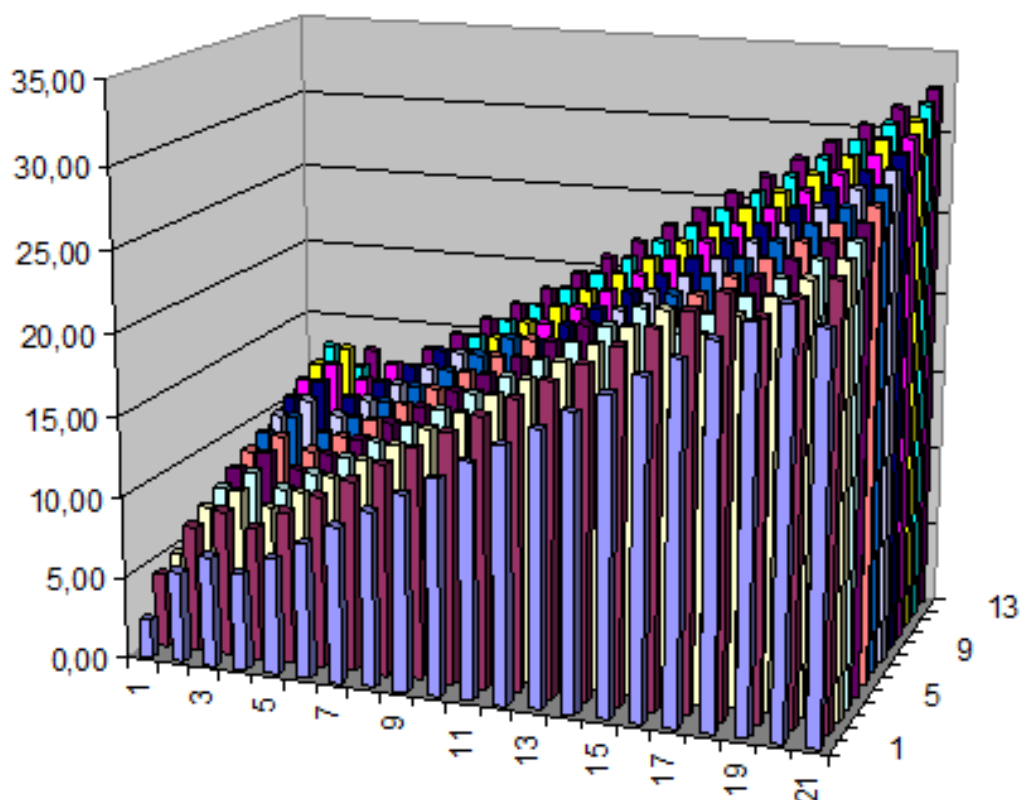


Рисунок 7 – Алгоритм обоснования технических и конструктивных параметров комбинированной системы солнечного тепло- и холодоснабжения.

Таким образом, предложенный метод обоснования параметров комбинированной солнечной системы тепло- и холодоснабжения позволяет произвести оптимизацию системы по различным энергетическим, техническим и конструктивным параметрам для обеспечения наиболее эффективного ее функционирования

**Глава четыре** посвящена разработке контроллера управления работой комбинированной системы солнечного тепло и холодоснабжения.

Эффективное использование различных источников теплоты в комбинированной системе солнечного тепло- и холодоснабжения возможно при условии согласованной совместной работы всех ее элементов.

Для управления работой системы предложен алгоритм, представленный на рисунке 7.

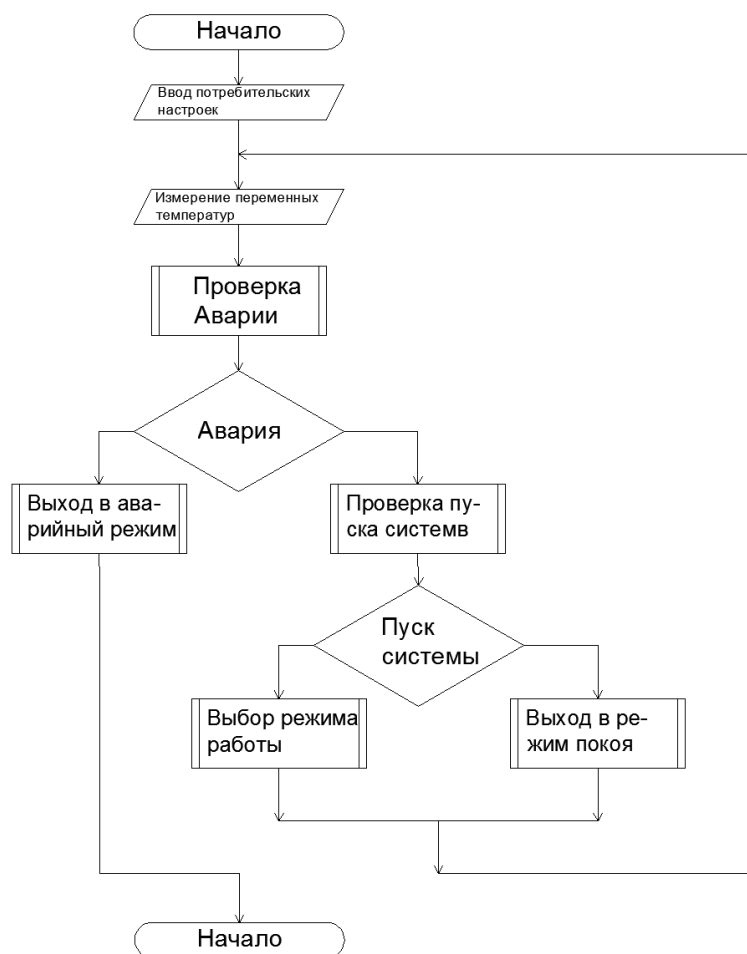


Рисунок 7 – Алгоритм работы автоматического блока управления

Система управления (рисунок 8) собрана из следующих модулей:

- Плата Arduino UNO;
- Макетная плата для сборки компонентов схемы;
- Дисплей WH1601A-NGG-CT с резистивным делителем регулировки контрастности;
- Резисторы – 220 Ом, 10 кОм, 4.7 кОм;
- Цифровой температурный датчик погружного типа DS18B20;
- Разъем гнезда питания 2,1/5,5 мм;
- Светодиоды индикации аварийного режима;
- Блоки питания 24 В, 12 В, 5 В;
- Циркуляционные насосы;
- Силовые реле управления работой циркуляционных насосов;
- Сервоприводы трехходового крана с датчиками крайних положений.

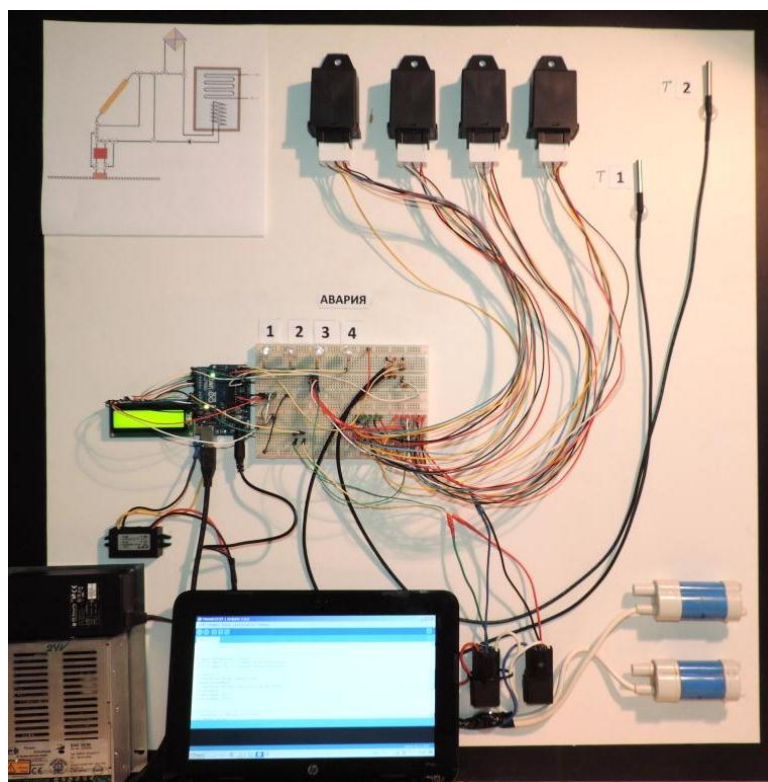


Рисунок 8 – Макет системы управления работой комбинированной системы солнечного тепло- и холодоснабжения

При имитации переключения трехходовых кранов солнечного коллектора контроллер получает данные о температуре теплоносителя внутри СК и оценивает необходимость включения его в циркуляционный контур, после чего посылает сигнал на переключение трехходовых кранов.

**Пятая глава** посвящена экономическому обоснованию системы солнечного тепло- и холодоснабжения. Для оценки термозкономических затрат системы солнечного теплоснабжения рассмотрим дерево термозкономических затрат  $z=(N,D)$ , множество  $N$  вершин которого соответствует возможному распределению потоков  $C$  в теплоэнергетической установке, структурная схема которой представлена на рисунке 9.

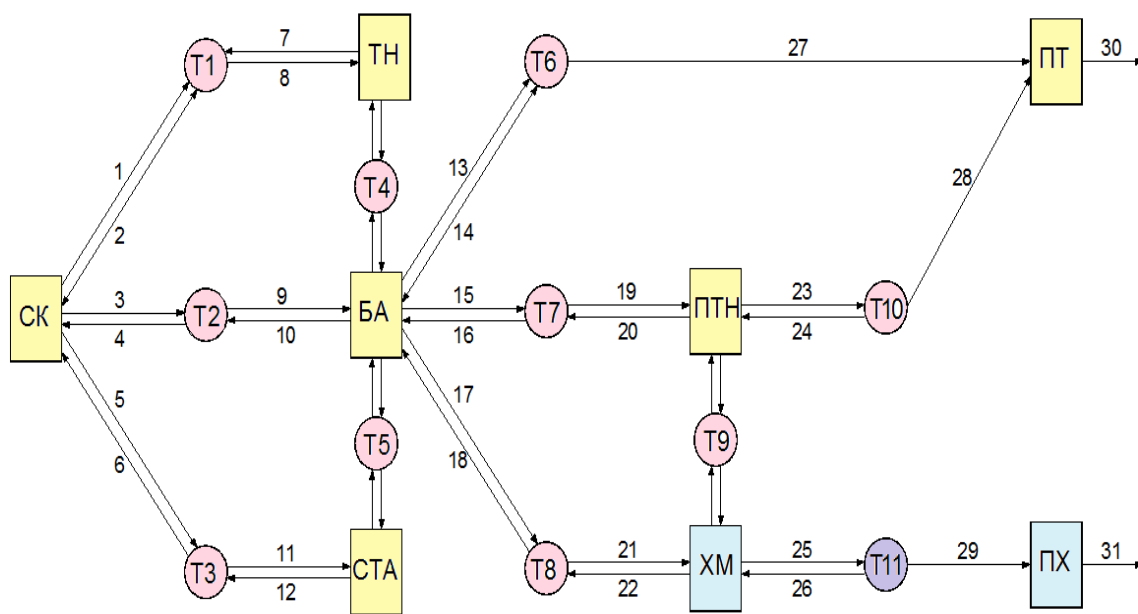


Рисунок 9 - Структурная схема системы солнечного теплоснабжения: СК – солнечный коллектор; Т1–Т11 – теплообменники; ТН – воздушный тепловой насос; БА – бак-аккумулятор; СТА – сезонный тепловой аккумулятор; ПТН – повышающий термотрансформатор; ХМ – холодильная машина; ПТ – потребитель теплоты; ПХ – потребитель холода

На рисунке 10 показано дерево термозкономических затрат. Для комбинированной установки солнечного тепло- и холодоснабжения дерево термозкономических затрат строится на основании предворительно проведенно-

го конструктивно-технологического исследования и на втором уровне может иметь стоимостно-количественную характеристику солнечных коллекторов системы, на третьем скважин-теплообменников, а на четвертом воздушных тепловых насосов.

Помимо этого могут быть добавлены дополнительные уровни, отражающие стоимость бака аккумулятора и других элементов системы.

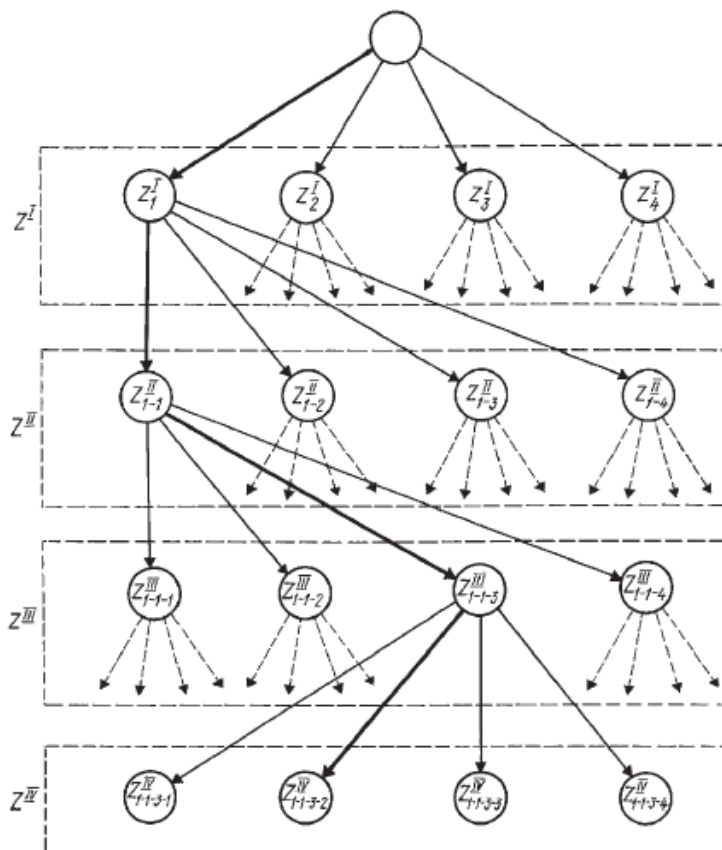


Рисунок 10 - Дерево термоэкономических затрат системы солнечного теплоснабжения

Проведя экономический анализ системы предназначенной для тепло и холодоснабжения индивидуального жилого дома в поселке Витязево, Краснодарский край, было выявлено, что для нормальной работы системы необходимо не менее двух скважин-теплообменников, а монтаж скважин более трудоемкий процесс, чем монтаж солнечных коллекторов, то выбираем второй вариант, включающий 3 скважины теплообменника глубиной заложения 50 м и оснащенные грунтовым тепловым насосом фирмы Nibe, 11 плоских солнечных коллекторов с одинарным остеклением фирмы Сокол, воздушный

теплового насоса Nibe мощностью 7,5 кВт, а так же бака аккумулятора Ariston вместительностью 400 л и абсорбционную холодильную машины.

Затраты на строительство комбинированной системы солнечного тепло- и холодоснабжения составляют 1.4 млн. руб. Срок окупаемости проекта составил почти 9 лет.

## **ОБЩИЕ ВЫВОДЫ**

Научно-исследовательская работа позволила получить необходимые результаты и сделать следующие выводы:

1. В условиях Краснодарского края комбинированные системы солнечного тепло- и холодоснабжения для эффективной круглогодичной бесперебойной работы должны включать солнечные коллекторы, воздушный и грунтовый тепловые насосы, Применение в таких системах абсорбционных холодильных машин и грунтовых теплообменников повышает универсальность системы.

2. Разработанное структурно-схемное решение комбинированной установки солнечного тепло- и холодоснабжения позволяет в полной мере использовать потенциал возобновляемых источников энергии и обеспечить потребителя надежным бесперебойным тепло и холодоснабжением, за счет совместной работы устройств использующих доступные в Краснодарском крае возобновляемые источники энергии.

3. Разработанный алгоритм, основанный на расчете трехмерных матриц энергий, обоснования и соответствующие этому алгоритму рекомендации энергетических и технических параметров комбинированной системы солнечного тепло- и холодоснабжения позволяет определить оптимальную конструктивно-технологическую схему исходя из заданного критерия (минимальный размер, трудоемкость, материалоемкость и т.д.)

4. Разработанный алгоритм управления работой комбинированной системы солнечного тепло- и холодоснабжения обеспечивает надёжную совместную работу всех элементов системы.

5. Разработано устройство управления комбинированной системой солнечного тепло- и холодоснабжения, которое позволило управлять системой и подстраивать ее под изменение параметров потребителя и окружающей среды.

6. Экономическое обоснование системы позволило получить конструкцию установки с наименьшими затратами на приобретение монтаж и эксплуатацию. Затраты на строительство комбинированной системы солнечного тепло- и холодоснабжения для индивидуального жилого дома, расположенного в пос. Витязево Краснодарского края, будут наименьшими для системы включающей 3 скважины теплообменника глубиной заложения 50 м и оснащенные грунтовым тепловым насосом фирмы Nibe, 11 плоских солнечных коллекторов с одинарным остеклением фирмы Сокол, воздушный тепловой насос Nibe мощностью 7,5 кВт, а так же бак аккумулятора Ariston вместительностью 400 л и абсорбционную холодильную машину и составляют 1.4 млн. руб. Срок окупаемости проекта составляет около 9 лет, что для установок такого типа представляется приемлемым.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Результаты проведенного исследования могут быть использованы при проведении изыскательских и проектных работ, связанных с разработкой и внедрением энергоэффективных комбинированных систем солнечного теплохолодоснабжения и кондиционирования воздуха.

Использование разработанной энергоэффективной комбинированной системы солнечного тепло- и холодоснабжения возможно для децентрализованных потребителей, предприятий агропромышленного комплекса, индивидуальных домостроений и при этом позволяет обеспечить потребителя ком-

фортными микроклиматическими условиями, в значительной мере сократив затраты природного ископаемого топлива.

С целью определения перспективы использования энергоэффективной комбинированной системы солнечного тепло- и холодоснабжения необходимо продолжить исследования этой системы на реальных объектах агропромышленного комплекса.

### **Публикации:**

#### **- в изданиях, рекомендованных ВАК**

1. Кириченко А.С. Способы аккумулирования энергии / Р.А. Амерханов, А.С. Кириченко // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2012. № 37. С. 296-298.
2. Кириченко А.С. Перспективы использования возобновляемых источников энергии / Р.А. Амерханов, Б.К. Цыганков, С.Н. Бегдай, А.С. Кириченко, И.В. Милованов, А.А. Куличкина / Труды Кубанского государственного аграрного университета. - № 42. - 2013. - С. 185-189.
3. Кириченко А.С. Солнечная энергия и способы ее использования / А.С. Кириченко, Ю.Л. Муртазаева // Труды Кубанского госагроуниверситета. – № 45. –2013. – С. 226-229
4. Кириченко А.С. Тепловые насосы / А.С. Кириченко, А.А. Куличкина // Труды Кубанского госагроуниверситета. – № 45. – 2013. – С. 223-226.
5. Кириченко А.С. Повышение эффективности работы подземного теплового аккумулятора [электронный ресурс] / А.С. Кириченко // Научный журнал КубГАУ №113 (09). 2014. – URL: <http://ej.kubagro.ru/2014/09/pdf/89.pdf>.
6. Кириченко А.С. Интенсификация процессов теплообмена в тепловом аккумуляторе / Р.А. Амерханов, К.А. Гарькавый, А.С. Кириченко // Энергосбережение и водоподготовка. № 6(92). 2014. С. 49-54.
7. Кириченко А.С. Анализ солнечной теплонасосной энергетической системы с эксергоэкономической точки зрения [электронный ресурс] / А.С. Ки-



риченко // Научный журнал КубГАУ. №97(03). 2014. – С. 351-358. — URL: <http://ej.kubagro.ru/2014/03/pdf/87.pdf>.

8. Кириченко А.С. Использование воздушного теплового насоса для теплоснабжения объектов. / Р.А. Амерханов, А.С. Кириченко, В.П. Снисаренко // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. – № 1– 2015. – С. 73-79.

*- в других изданиях*

9. Кириченко А.С., Амерханов Р.А. Системы теплоснабжения потребителей при использовании солнечной энергии / Р.А. Амерханов, А.С. Кириченко // Возобновляемые источники энергии: Материалы восьмой всероссийской научной молодежной школы с международным участием –2012. – С 160-164.

10. Kirichenko A.S. Energy accumulation methods / A.S. Kirichenko, R.A. Amerkhanov // *Kybernetik@1* №10, 2013. С 14-18

11. Кириченко А.С. Определение эффективности использования солнечных коллекторов / А.С. Кириченко // Научное обеспечение агропромышленного комплекса: материалы VII всероссийская научно-практическая конференция молодых ученых. 2014.

12. Кириченко А.С. Преимущества эксергоэкономической оптимизации системы на основе возобновляемых источников энергии / А.С. Кириченко // Технические и технологические системы. Материалы шестой международной научной конференции ТТС-14. –2014. С. 427-432

13. Кириченко А.С. Способы повышения интенсивности теплообмена в тепловом аккумуляторе / А.С. Кириченко // Инновации в сельском хозяйстве. № 3 (8). 2014. С. 31-35.

*-патентов РФ*

14. Кириченко А.С. Тепловой аккумулятор / Р.А. Амерханов, К.А. Гарькавый, А.С. Кириченко // Полезная модель 144055 Российская Федерация,

МПК7 F24 H7/00; заявитель и патентообладатель Куб. гос. агр. ун-т. – № 2014108775/06; заявл. 06.03.2014

15. Кириченко А.С. Система теплоснабжения / Р.А. Амерханов, К.А. Гарькавый, А.С. Кириченко //Полезная модель 147281 U1 Российская Федерация, МПК7 F24 H7/00; заявитель и патентообладатель Куб. гос. агр. ун-т. – F24 H7/00; заявитель и патентообладатель Куб. гос. агр. ун-т. – № 2014108775/06; заявл. 10.04.2014;

16. Кириченко А.С. Гелиоабсорбционный кондиционер / Р.А. Амерханов, К.А. Гарькавый, А.С. Кириченко //Полезная модель 147281 U1 Российская Федерация, МПК7 F24 H7/00; заявитель и патентообладатель Куб. гос. агр. ун-т. – F24 H7/00; заявитель и патентообладатель Куб. гос. агр. ун-т. – № 2014108775/06; заявл. 10.04.2014;



Подписано к печати \_\_.\_\_.2015 г.

Бумага офсетная

Печ. л. 1

Тираж 100 экз

Формат 60x84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>

Офсетная печать

Заказ № \_\_\_\_

---