

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

УДК 697.329 + 697.7 (476)

**РУТКОВСКИЙ**  
**Максим Антонович**

**ГЕЛИОСИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ  
В УСЛОВИЯХ БЕЛАРУСИ**

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

по специальности 05.23.03 – Теплоснабжение, вентиляция,  
кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение

Минск 2017

Научная работа выполнена в Белорусском национальном техническом университете

Научный руководитель

**Покотилов Виктор Владимирович**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Теплогасоснабжение и вентиляция» Белорусского национального технического университета

Официальные оппоненты:

**Китиков Вадим Олегович**, доктор технических наук, доцент, председатель Белорусского профсоюза работников НАН Беларуси;

**Гаркуша Карина Эдуардовна**, кандидат технических наук, доцент, декан факультета электрификации Белорусского государственного аграрного технического университета

Оппонирующая организация:

РУП «Институт жилища – НИПТИС имени Атаева С. С.»

Защита состоится «14» ноября 2017 г. в 15.00 часов на заседании совета по защите диссертаций Д.02.05.10 при Белорусском национальном техническом университете по адресу: 220013, г. Минск, пр-т Независимости, 65, корп. 1, ауд. 202, телефон ученого секретаря (017) 265-64-21.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского национального технического университета.

Автореферат разослан «13» октября 2017 г.

Ученый секретарь

совета по защите диссертаций

кандидат технических наук, доцент

Л. В. Нестеров

© Рутковский М.А., 2017

© Белорусский национальный  
технический университет, 2017

## ВВЕДЕНИЕ

В Беларуси удельное годовое потребление теплоты на нужды отопления и горячего водоснабжения в жилом фонде, введенном в эксплуатацию до 1994 года, составляло 200–290 кВт·ч/м<sup>2</sup> (в том числе на отопление 130–190 кВт·ч/м<sup>2</sup>, а на горячее водоснабжение 70–100 кВт·ч/м<sup>2</sup>).

Благодаря энергоэффективным мероприятиям, предпринятым Правительством Республики Беларусь в области повышения теплозащитных качеств ограждающих конструкций зданий, реконструкции насосных циркуляционных станций тепловых сетей, глобальной реконструкции структуры и технологии тепловых сетей, планомерной ликвидации 4-трубных квартальных сетей с переходом на 2-трубные сети с повсеместным внедрением автоматизированных индивидуальных тепловых пунктов (ИТП) в каждом здании, – на период начала XXI века удельные годовые показатели снизились до 150–190 кВт·ч/м<sup>2</sup> (в том числе на отопление до 90–110 кВт·ч/м<sup>2</sup>, а на горячее водоснабжение до 60–80 кВт·ч/м<sup>2</sup>).

Современные нормы Беларуси предусматривают удельное годовое потребление теплоты на нужды отопления не более 60 кВт·ч/м<sup>2</sup>, что достигается усиленной теплоизоляцией наружных ограждений и индивидуальной автоматизацией на отопительных приборах в каждом помещении. При этом расходы теплоты на горячее водоснабжение превышают расходы на отопление и остаются на прежнем уровне – до 80 кВт·ч/м<sup>2</sup>. Таким образом, общие годовые расходы составляют примерно 140 кВт·ч/м<sup>2</sup>. Снизить эти расходы возможно за счет применения возобновляемых источников энергии, среди которых перспективным направлением является применение гелиосистем.

Экономически целесообразное направление в эффективном использовании солнечной энергии на нужды отопления – применение «пассивных» устройств для фасадов южной ориентации.

Анализ отечественных и зарубежных публикаций по теме работы показывает незавершенность некоторых исследований. Затруднена реализация предлагаемых решений вследствие отсутствия учета климатических и эксплуатационных особенностей проектируемого объекта. Существующие методики подбора оборудования укрупненные и не позволяют реально оценить эффективность применения проектных решений. Эти вопросы входят в предмет исследований представляемой работы с разработкой новых предложений и рекомендаций для практического применения. Решение перечисленных задач ново с научной точки зрения, актуально и имеет важное практическое и социальное значение в области строительства и модернизации жилых домов в Республике Беларусь.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### **Связь работы с крупными научными программами и темами**

Работа выполнена в Белорусском национальном техническом университете. Тема диссертационной работы соответствует задачам и направлениям, определенным: Законом Республики Беларусь «О возобновляемых источниках энергии», одобренным Советом Республики 10.12.2010 (принят Палатой Представителей 24.11.2010); постановлением Совета Министров Республики Беларусь «Об утверждении Концепции энергетической безопасности Республики Беларусь» от 23.12.2015 № 1084; Директивой Президента Республики Беларусь «Экономия и бережливость – главные факторы экономической безопасности государства» от 14.06.2007 № 3 (в редакции Указа Президента Республики Беларусь № 26 от 26.01.2016 «О внесении изменений и дополнений в Директиву Президента Республики Беларусь»); Государственной программой «Энергосбережение», утвержденной постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 28.03.2016 № 248, на 2016–2020 гг.

### **Цель и задачи исследования**

Цель работы – разработка методик инженерного расчета для гелиосистем теплоснабжения жилых домов: «пассивного» устройства отопления здания в виде гелиосистемы воздушного отопления с естественной циркуляцией и гелиосистем горячего водоснабжения с естественной и насосной циркуляцией теплоносителя.

Для достижения указанной цели в диссертационной работе были поставлены следующие задачи исследования:

1. Разработать физическую модель и конструктивные решения «пассивных» устройств отопления для жилых зданий в условиях Беларуси.
2. Разработать физико-математическую модель теплообмена в гелиосистеме с естественной циркуляцией теплоносителя для выявления определяющих безразмерных комплексов.
3. Экспериментально исследовать гелиосистему воздушного отопления с естественной циркуляцией и провести расчеты зависимостей КПД гелиоколлектора от предлагаемых определяющих безразмерных комплексов.
4. Экспериментально исследовать водяную гелиосистему с естественной и насосной циркуляцией теплоносителя и провести расчеты зависимостей КПД гелиоколлектора от предлагаемых безразмерных комплексов, включающих теплотехнические и гидравлические характеристики гелиосистемы.
5. Разработать для жилых зданий рекомендации по расчету, проектированию и эксплуатации гелиосистем отопления и горячего водоснабжения для эксплуатационных условий Беларуси.
6. Предложить к внедрению гелиосистему горячего водоснабжения многоквартирного жилого здания, обладающую максимальным тепловым потенциалом, с водяным баком-аккумулятором с температурным расслоением по его высоте, работающим при атмосферном давлении.

**Научная новизна** заключается в следующем:

- во введении безразмерного комплексного параметра, включающего семь определяющих величин вместо применяемых ранее трех, и функциональные зависимости для определения КПД гелиоколлектора в системах с естественной циркуляцией и потенциала теплоносителя на выходе из него;
- в получении результатов экспериментальных исследований, по которым выявлены эмпирические константы для функциональных зависимостей по определению теплового потенциала теплоносителя на выходе из гелиоколлектора;
- в выявлении по результатам экспериментальных исследований эмпирических констант для определения КПД гелиоколлектора в системах с естественной циркуляцией теплоносителя;
- в получении максимального КПД гелиосистемы с естественной циркуляцией при расчетном значении характеристики сопротивления оборудования обвязки гелиоколлектора, не превышающего значения характеристики сопротивления гелиоколлектора;
- в установлении соответствующего климату Беларуси диапазона расхода теплоносителя 20–40 кг/ч на 1 м<sup>2</sup> гелиоколлектора путем автоматического изменения подачи насоса по датчику температуры теплоносителя, позволяющего повысить теплопроизводительность водяных насосных гелиосистем с плоскими гелиоколлекторами при сохранении максимально возможной температуры теплоносителя на выходе из гелиоколлектора.

**Положения, выносимые на защиту:**

- физическая модель процесса пассивного использования солнечной энергии на нужды теплоснабжения жилых домов в Республике Беларусь;
- комплекс определяющих параметров для расчета КПД гелиоколлекторов;
- результаты анализа и определение оптимального режима эксплуатации гелиоколлекторов в условиях Беларуси;
- результаты анализа тепловых характеристик гелиоколлекторов;
- методики расчета воздушных гелиосистем отопления и гелиосистем горячего водоснабжения для жилых зданий с учетом имеющихся статистических климатических данных, что позволит подобрать оборудование гелиосистемы с минимальными капиталовложениями;
- схемы гелиосистем теплоснабжения жилых домов для климатических условий и эксплуатационных особенностей в Республике Беларусь, позволяющие стабильно работать с незначительными эксплуатационными затратами.

**Личный вклад соискателя ученой степени**

В получении, обобщении и обработке всех экспериментальных и теоретических результатов, представленных в диссертации, выполненной под научным руководством кандидата технических наук, доцента Покотилова В. В., соискатель ученой степени принимал участие.

Соискатель принимал непосредственное участие в написании научных публикаций лично и в соавторстве, планировании, реализации и аналитической обработке материалов проведенных экспериментальных исследований, формулировке основных положений и выводов, осуществлении внедрения и оценке эффективности разработок.

### **Апробация результатов диссертации и информация об использовании ее результатов**

Основные положения и результаты исследований диссертационной работы были доложены и обсуждены на более чем 15 конференциях, форумах, семинарах различного уровня (вузовских, республиканских, международных): на международных научно-технических конференциях «Наука – образованию, производству, экономике», г. Минск (2011–2017 гг.); Международном научно-практическом семинаре «Практика и проблемы проектирования, строительства и эксплуатации энергоэффективных жилых зданий в Республике Беларусь», 13–14 июля 2011 г., Минск; VI Международной конференции «Энергоэффективное строительство в Республике Беларусь: вопросы современного энергосбережения», 27 февраля 2014 г., Минск; XIX белорусском энергетическом и экологическом форуме «Энергетика. Экология. Энергосбережение»; V Международной конференции «Энергосбережение и повышение энергоэффективности. Энергоэффективность в жилом секторе: актуальные направления и практический опыт», 16 октября 2014 г., Минск; 3<sup>rd</sup> Belarus-Korea forum «Science. Innovation. Production», 16–17 October 2014, Minsk; Шестой Международной конференции «Энергоэффективное строительство в Республике Беларусь: современные технологии энергосбережения», 26 февраля 2015 г., Минск; VI Международной конференции «Энергосбережение и повышение энергоэффективности. Перспективы развития возобновляемых источников энергии в Республике Беларусь. Использование на современном этапе жилищного строительства возобновляемых источников энергии», 15 октября 2015 г., Минск; II Международной научно-практической конференции «Техническое регулирование строительной отрасли в современных условиях», 19 мая 2016 г., Минск; VII Международной научно-технической конференции «Энергоэффективные здания XXI века. Европейский и отечественный опыт в проектировании, строительстве и эксплуатации зданий и сооружений с минимальным потреблением энергии. Инженерное оборудование. Альтернативные источники энергии», 7–8 декабря 2016 г., Минск.

### **Опубликованность результатов диссертации**

Основные положения диссертации опубликованы в 26 работах: рекомендации по проектированию, утвержденные Министерством образования Республики Беларусь и Министерством строительства и архитектуры Республики Беларусь; четыре статьи в рецензируемых изданиях, включенных в перечень ВАК Республики Беларусь; 15 публикаций в сборниках материалов научно-практических конференций, в том числе одна на английском языке; пять статей в научно-технических журналах; справочное пособие. Общий объем публикаций – 8,7 авторского листа.

### **Структура и объем диссертации**

Рукопись диссертационной работы состоит из введения, общей характеристики работы, пяти глав с выводами по каждой из них, заключения, списка использованных источников и приложений.

Общий объем диссертации – 164 страницы, в том числе иллюстраций – 55, таблиц – 17, приложений – 7. Список использованных источников состоит из 109 наименований. Список публикаций автора – 26 наименований.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В первой главе приводятся краткие сведения о технических решениях различных гелиосистем, применяемых для жилых домов на нужды отопления и горячего водоснабжения с одно- и двухсуточным аккумулированием тепловой энергии. Гелиосистема горячего водоснабжения состоит из гелиоколлектора, аккумулятора теплоты, системы потребления и может иметь естественную или насосную циркуляцию. Применяют гелиоколлекторы плоские и вакуумированные трубчатые. Плоские гелиоколлекторы по схеме «арфа» применяют при естественной циркуляции, а по схеме «меандр» – при насосной циркуляции ввиду их высокого гидравлического сопротивления. Современные гелиоколлекторы аттестуются на предмет соответствия европейским нормативным требованиям. Испытания выполняются на специальных стендах с насосной циркуляцией теплоносителя.

При насосной циркуляции КПД различных гелиоколлекторов представляют в виде графических зависимостей. Для некоторых коллекторов такие зависимости показаны на рисунке 1.

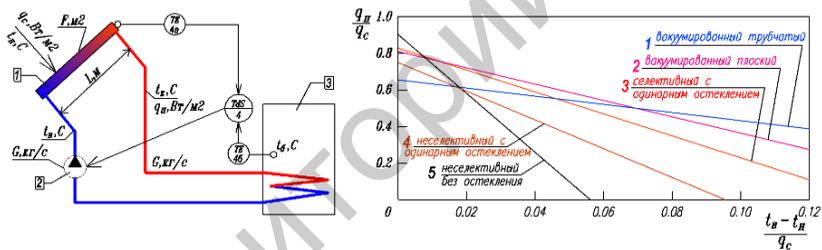


Рисунок 1. – Тепловая схема и графическая зависимость для определения КПД гелиоколлекторов различного типа при насосной циркуляции теплоносителя

При тестовых испытаниях задаются постоянным удельным расходом теплоносителя. На основании результатов испытаний оценивают тепловую эффективность гелиоколлектора при насосной циркуляции в виде КПД гелиоколлектора по формуле

$$\eta_c = \frac{q_n}{q_c} = f \left\{ \frac{t_b - t_n}{q_c} \right\}, \quad (1)$$

где  $q_n$  – теплопроизводительность коллектора, приведенная к  $1 \text{ м}^2$  его площади,  $\text{Вт/м}^2$ ;

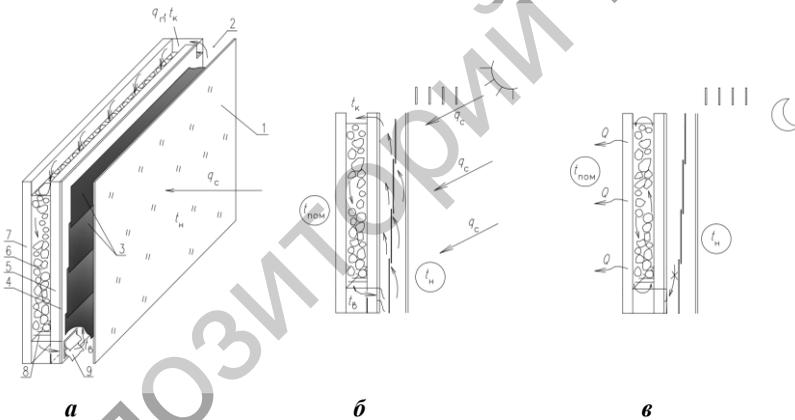
$q_c$  – интенсивность солнечного излучения в площади коллектора,  $\text{Вт/м}^2$ ;

$t_b$  – температура теплоносителя на входе в гелиоколлектор;

$t_n$  – то же окружающего гелиоколлектор «наружного» воздуха.

При естественной циркуляции характер изменения КПД гелиоколлектора будет иметь иную причинную зависимость, чем (1), хотя в литературных источниках предлагается системы с естественной циркуляцией оценивать по зависимости (1).

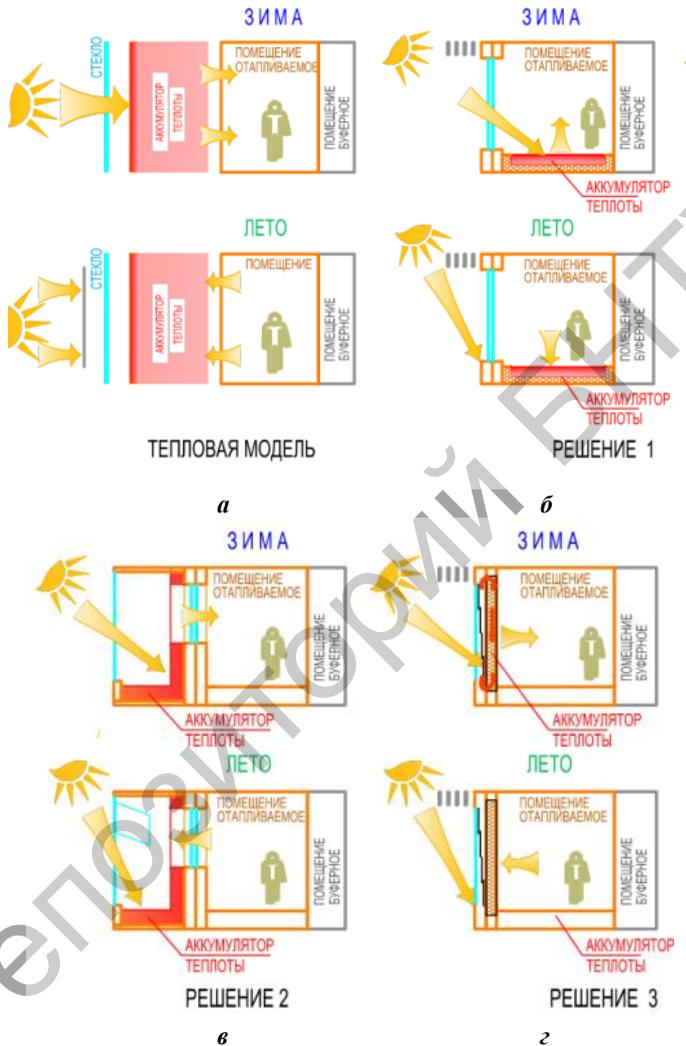
Энергетический потенциал здания увеличивается при использовании пассивных устройств. В современном домостроении к эффективным пассивным устройствам следует отнести специальные накладные элементы южного фасада, пристройки к нему, различные варианты пристраиваемого или встраиваемого зимнего сада, а также использование воздушных гелиоколлекторов пассивных устройств типа стены Тромба или стены с совмещением в ней эффективного воздушного гелиоколлектора и активного гравийного теплоаккумулятора (рисунок 2, разработка БНТУ). В дневное время (рисунок 2, б) возникает естественная циркуляция воздуха вдоль теплопринимающих элементов 3, нагревая теплоаккумулирующую засыпку 6. Теплота в помещении передается от теплоаккумулирующей засыпки за счет теплопроводности стены 7.



**а** – схема конструктивного решения стены; **б** – тепловая схема в дневное время суток; **в** – тепловая схема в ночной период; 1 – остекление наружное; 2 – воздушный зазор; 3 – теплопринимающие элементы из кровельной стали; 4 – слой теплоизоляции; 5, 7 – несущие слои; 6 – слой теплоаккумулирующей засыпки из камней; 8 – решетка из арматурной сетки; 9 – обратный клапан

**Рисунок 2.** – Схема пассивного устройства использования солнечной энергии в виде стены южного фасада

Принципы построения большинства пассивных устройств солнечного отопления можно представить в виде единой тепловой модели (рисунок 3, а), на основании которой построены различные «пассивные» устройства солнечного отопления (рисунки 3, б-г). Тепловая модель (рисунок 3, а) состоит из последовательности отдельных элементов. Отсутствие любого из этих элементов или нарушение последовательности их расположения полностью исключает получение требуемого теплового эффекта.



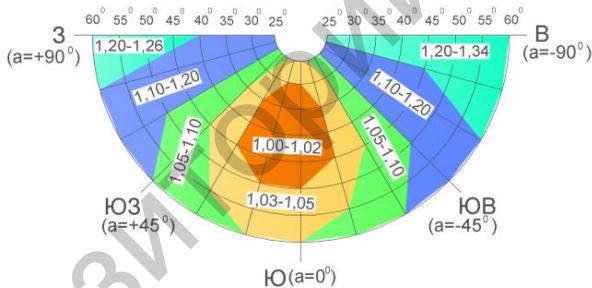
*а* – тепловая модель конструирования «пассивных» устройств; *б* – популярное в Европе техническое решение; *в* – техническое решение за счет применения «зимнего сада» для индивидуального дома или реконструкции лоджий южного фасада многоквартирного жилого дома; *z* – «пассивное» устройство в виде стены южного фасада со слоем теплоаккумулирующей засыпки из камней

Рисунок 3. – Технологические принципы конструирования «пассивных» устройств солнечного отопления жилых зданий

Автором выполнен анализ радиационного климата Беларуси и с его учетом выявлены основные направления для развития гелиотехники в жилищном домостроении. В настоящее время следует проектировать технически простые гелиосистемы, доступные для обслуживания существующими техническими службами. Например, необходимо отказаться от мембранных расширительных баков, заменив их расширительными баками специальной конструкции, которые работают под атмосферным давлением. Также нужно разработать баки-аккумуляторы для условий эксплуатации под атмосферным давлением. Для домов усадебного типа приоритетными должны быть системы с естественной циркуляцией.

Исходя из изложенного, сформулированы цель и задачи исследования.

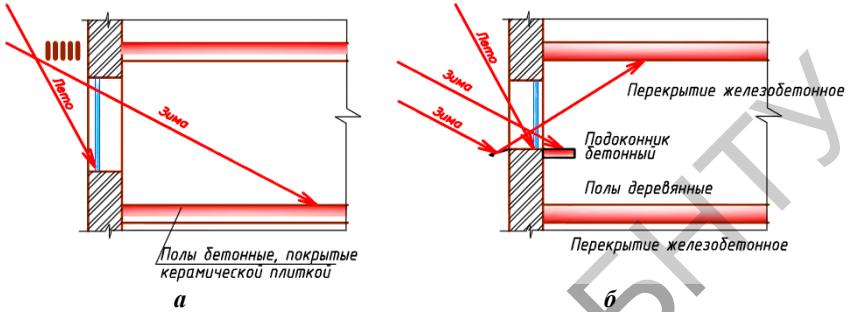
**Во второй главе** представлена методика обработки данных температурно-радиационного режима, с помощью которой получены исходные данные радиационного климата Беларуси, необходимые для теплового и гидравлического расчета гелиосистем. Для корректировки результатов теплового расчета разработана диаграмма для определения коэффициента уменьшения поступления суммарной солнечной энергии на наклонную поверхность при различных азимутах (рисунок 4).



**Рисунок 4.** – Диаграмма для определения коэффициента уменьшения поступления суммарной солнечной энергии на наклонную поверхность в зависимости от угла ее наклона при различных азимутах (для осенне-весенне-летнего периода Беларуси)

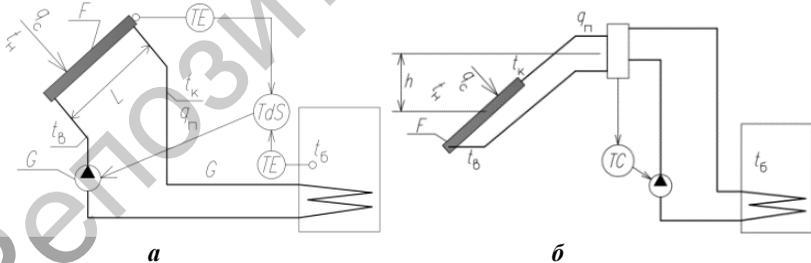
Разработана методика, позволившая вычислить основные исходные параметры для определения КПД гелиоколлектора, для выполнения теплового и конструктивного расчетов пассивных устройств использования солнечной энергии на отопление жилых зданий и для построения энергоэффективных квартальных ячеек дальнего порядка, предложенных автором для исключения взаимозатеняемости зданий. Учитывая особенности традиционного для Беларуси домостроения, разработана методика расчета элементов пассивных устройств при наличии нетеплоемких напольных покрытий (рисунок 5). В предложенной схеме для аккумулирования солнечной энергии используются поверхности стен и потолка. Южный фасад формируется из широких окон,

заглубленных относительно наружной поверхности ограждений, высотой до 1,2 метра в сочетании с широкими теплоемкими подоконниками (из бетона, камня и т.п.) и отражателями с наружной стороны.



*a* – традиционное для Европы решение; *б* – предлагаемое для Беларуси решение  
**Рисунок 5. – Традиционное и предлагаемое для условий Беларуси решение горизонтального солнцезащитного устройства**

В результате анализа технико-экономических характеристик современных плоских и трубчатых вакуумированных гелиоколлекторов автор доказал, что для условий Беларуси следует применять плоские солнечные коллекторы с одинарным светопрозрачным покрытием. Научно обоснован комплекс определяющих параметров тепловых характеристик гелиоколлекторов в системах с насосной и естественной циркуляцией (рисунок 6).



**Рисунок 6. – Структурные схемы гелиосистем горячего водоснабжения с выбором независимых переменных, характеризующих процессы теплообмена в системе с принудительной (а) и естественной (б) циркуляцией теплоносителя в гелиоконтуре**

Путем составления уравнений теплового баланса при стационарных условиях теплопередачи, а также применения метода размерностей по методике Апелля получена следующая функциональная зависимость определения КПД гелиоколлектора при насосной циркуляции теплоносителя:

$$\frac{q_n}{q_c} = f\left(\frac{\Theta_k (G/F)^2 v}{\Theta_n q_c \rho L}\right) = f(A), \quad (2)$$

где  $\Theta_n = \frac{t_k + t_b}{2} - t_n$  – разность между средней температурой теплоносителя в коллекторе и температурой окружающего воздуха, °С;

$\Theta_k = t_k - t_b$  – разность температур теплоносителя на выходе из коллектора и на входе в коллектор, °С;

$G$  – расход теплоносителя через гелиоколлектор, кг/с;

$F$  – площадь гелиоколлектора, м<sup>2</sup>;

$v$  – кинематическая вязкость воды, принимаемая по средней температуре теплоносителя в гелиоколлекторе, м<sup>2</sup>/с;

$\rho$  – плотность воды, принимаемая по средней температуре теплоносителя в гелиоколлекторе, кг/м<sup>3</sup>;

$L$  – размер гелиоколлектора в направлении движения теплоносителя, м.

При естественной циркуляции функциональная зависимость для КПД гелиоколлектора имеет вид

$$\frac{q_n}{q_c} = f\left(\frac{\Theta_k}{\Theta_n} g \sqrt{\frac{h^3}{SF^2 q_c v}}\right) = f(B), \quad (3)$$

где  $h$  – разность отметок центров нагрева и охлаждения гелиосистемы, м;

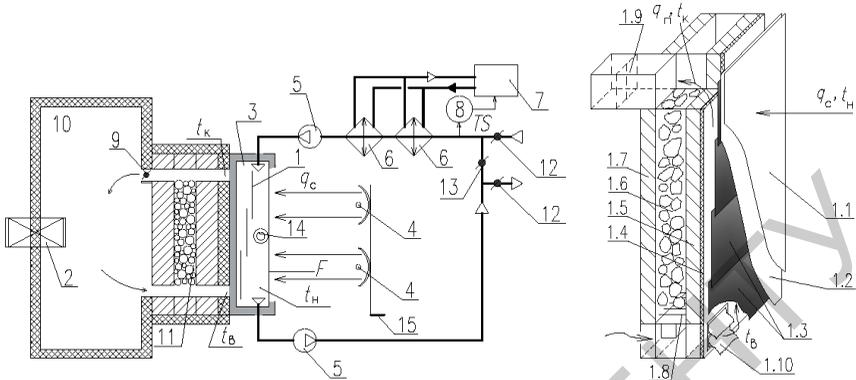
$g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$S$  – характеристика сопротивления, Па·с<sup>2</sup>/кг<sup>2</sup>.

Зависимости (2) и (3), в отличие от (1), учитывают влияние расхода теплоносителя и содержат в себе задаваемое условие равномерности распределения температуры теплоносителя в направлении его движения, поэтому могут служить основанием для построения методики расчета и проектирования гелиосистем соответственно с насосной и естественной циркуляцией. Полученные выражения включают дополнительные параметры и являются общими для всех типоразмеров коллекторов.

Для условий Беларуси нами разработаны оптимальные варианты схем гелиосистем с естественной и насосной циркуляцией для домов усадебного типа и для многоквартирных жилых домов с условной классификацией на небольшие (бойлер-аккумулятор до 0,5 м<sup>3</sup>), средние (буферный бак до 3 м<sup>3</sup> с теплообменными змеевиками) и крупные (буферный бак более 3 м<sup>3</sup> с теплообменниками до и после бака).

**В третьей главе** приведены результаты экспериментальных исследований тепловых и гидравлических характеристик *воздушного* гелиоколлектора. Для проведения экспериментальных исследований был создан лабораторный стенд, принципиальная схема которого показаны на рисунке 7.



- 1 – воздушный гелиоколлектор; 2 – кондиционер; 3 – термостатическая камера; 4 – имитатор солнечного излучения (галогенная лампа); 5 – вентилятор; 6 – воздухоохладитель; 7 – холодильная установка; 8 – регулятор температуры в термостатической камере; 9 – регулирующая заслонка; 10 – камера охлаждения; 11 – засыпка из камней; 12 – воздушная заслонка (в закрытом положении); 13 – воздушная заслонка на байпасе (в открытом положении); 14 – датчик пирометра; 15 – стойка с имитаторами солнечного излучения; 1.1 – остекление экспериментального стенда толщиной 3 мм; 1.2 – остекление гелиоколлектора толщиной 3 мм; 1.3 – тепловоспринимающие элементы из кровельной стали; 1.4 – пенополистирол; 1.5, 1.7 – кирпичная кладка; 1.6 – прослойка, заполненная теплоаккумулирующей засыпкой из камня среднего размера 100 мм; 1.8 – решетка из арматурной сетки; 1.9 – клапан-имитатор сопротивления сети; 1.10 – обратный клапан

Рисунок 7. – Схема экспериментальной установки для испытания воздушного гелиоколлектора

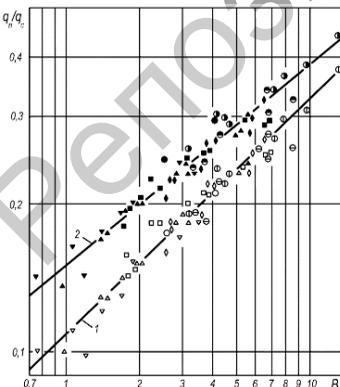


Рисунок 8. – Зависимость КПД гелиоколлектора от величины  $B$  с учетом дополнительного теплопоступления в помещение от коллектора (линия 2) и без учета (линия 1)

Результаты обработки экспериментальных исследований воздушного гелиоколлектора при естественной циркуляции теплоносителя в виде КПД гелиоколлектора в зависимости от комплексного параметра  $B$  представлены на рисунке 8.

Обозначения	$h$ , м	$F$ , м <sup>2</sup>	$S$ , Па·с <sup>2</sup> /кг <sup>2</sup>	$q_c$ , Вт/м <sup>2</sup>	$t_{in}$ , °С
○	2,32	1,81	19440	270–510	2–10
⊙	2,32	1,81	7258	270–510	0–10
⊖	2,32	1,81	2981	270–510	–(5–10)
▽	1,72	1,37	18533	290–550	–(5–10)
△	1,72	1,37	6869	290–550	–(7–10)
□	1,72	1,37	5054	290–550	–(7–10)
◇	1,72	1,37	2333	290–550	–(5–10)

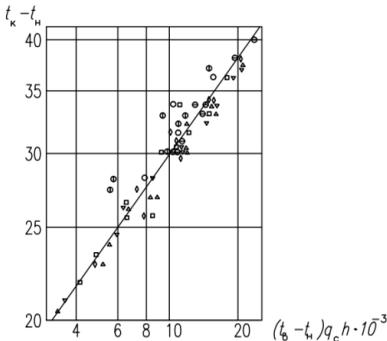


Рисунок 9. – Зависимость параметра  $(t_k - t_n)$  от комплекса  $(t_n - t_n)q_c h$

Результаты обработки экспериментальных данных позволили определить зависимость (рисунок 9), аппроксимируя полученные данные:

$$t_k - t_n = 1,127 \left[ (t_n - t_n) q_c h \right]^{0,36}. \quad (6)$$

На основании проведенных экспериментальных исследований разработана методика расчета воздушных гелиосистем.

**Четвертая глава** посвящена экспериментальным исследованиям *водяной гелиосистемы*. Для экспериментальных исследований водяного гелиоколлектора был создан стенд, общий вид и принципиальная схема которого показаны на рисунке 10. Испытания проводились с насосной и естественной циркуляцией теплоносителя при различной интенсивности излучения. Варьировались независимые переменные расхода и температур теплоносителя и окружающего воздуха.

Для выявления оптимальных режимов эксплуатации гелиосистемы изучался характер распределения температуры теплоносителя в коллекторе в зависимости от удельных расходов теплоносителя и интенсивности излучения. Схема расположения термпар и результаты экспериментов при насосной циркуляции теплоносителя показаны на рисунке 11.

На рисунке 11, б показаны температуры теплоносителя при минимально возможном удельном расходе теплоносителя  $20 \text{ кг}/(\text{ч} \cdot \text{м}^2)$ . В этом случае на выходе из коллектора получен наиболее высокий температурный потенциал. При интенсивности излучения  $580 \text{ Вт}/\text{м}^2$  распределение температуры имеет линейный характер, что характеризует полноту полезного восприятия теплового излучения, но при более высокой интенсивности излучения ( $770$  и  $950 \text{ Вт}/\text{м}^2$ ) проявляется нелинейность распределения температуры, характеризующая неполноту тепловосприятия. На рисунке 11, в приведены результаты при удельном расходе теплоносителя

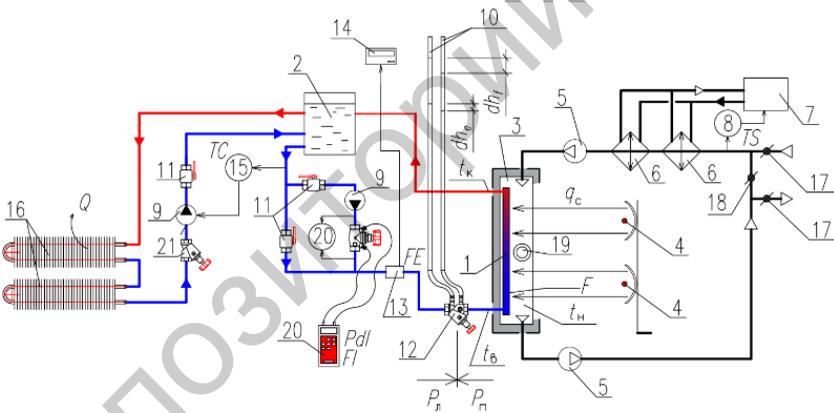
Экспериментальные значения (рисунок 8) аппроксимируются выражениями:

$$\eta_k = 0,11B^{0,48}; \quad (4)$$

$$\eta_n = 0,15B^{0,41}. \quad (5)$$

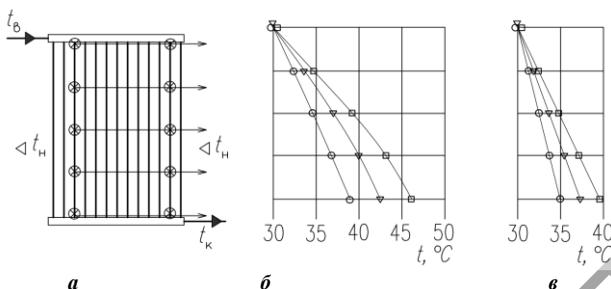
Комплексный параметр  $B$  включает в себя зависимый температурный параметр  $t_k$ , который совместно с  $h$  и  $q_c$  определяет интенсивность циркуляции теплоносителя в гелиосистеме. Величину  $(t_k - t_n)$  можно выразить как функцию от комплекса  $(t_n - t_n)q_c h$ , графическая зависимость этой функции показана на рисунке 9.

ля  $39 \text{ кг}/(\text{ч}\cdot\text{м}^2)$ . По сравнению с данными рисунка 11, б получены значительно более низкие температурные потенциалы, но максимальное количество тепловой энергии, так как распределение температуры имеет линейный характер при любой интенсивности излучения. Таким образом, значение  $40 \text{ кг}/(\text{ч}\cdot\text{м}^2)$  следует принимать как оптимально достаточное для проектного предложения.



- 1 – плоский гелиоколлектор; 2 – бак-аккумулятор; 3 – термостатическая камера;  
 4 – имитатор солнечного излучения (галогенная лампа); 5 – вентилятор;  
 6 – воздухоохладитель; 7 – холодильная установка; 8 – регулятор температуры в термостатической камере; 9 – циркуляционный насос; 10 – пьезометрическая трубка;  
 11 – шаровый кран; 12 – балансовый клапан с измерительными штуцерами с краном для слива; 13 – ультразвуковой расходомер счетчика коммерческого учета теплоты; 14 – электронный блок счетчика коммерческого учета теплоты; 15 – пропорциональный регулятор температуры; 16 – водоохладитель (в виде двух конвекторов, соединенных последовательно); 17 – воздушная заслонка (в закрытом положении);  
 18 – воздушная заслонка на байпасе (в открытом положении); 19 – пирометр;  
 20 – компьютер для измерения перепада давления и расхода; 21 – запорный вентиль

Рисунок 10. – Схема лабораторной установки для испытания гелиоколлектора



**Рисунок 11.** – Схема расположения терморпар (а) и распределение температуры ( $t_n = 14\text{ }^\circ\text{C}$ ) теплоносителя в коллекторе при удельном расходе теплоносителя 20,1 кг/(ч·м<sup>2</sup>) (б) и 39 кг/(ч·м<sup>2</sup>) (в);  $\circ$ ,  $\nabla$ ,  $\square$  – интенсивность излучения 580, 770 и 950 Вт/м<sup>2</sup> соответственно

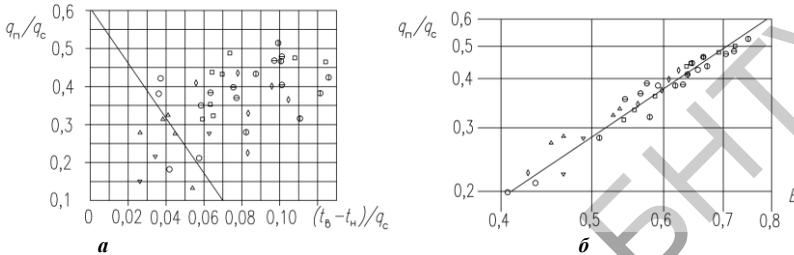
При естественной циркуляции гидравлические характеристики циркуляционного контура изменялись путем изменения гидравлического сопротивления балансового вентиля 12 (см. рисунок 10). В результате обработки экспериментальных данных по существующей методике получены результаты, показанные на рисунке 12, а в виде экспериментальных точек (здесь линией обозначена графическая аппроксимация результатов эксперимента при насосной циркуляции). При естественной циркуляции теплоносителя оказалось невозможно выявить обобщающей функциональной закономерности от комплекса (1). Это объясняется тем, что при естественной циркуляции на эффективность гелиоколлектора также оказывают влияние такие параметры, как характеристика сопротивления гелиоконтура и естественное гравитационное давление. Аналогичная ситуация наблюдалась при испытании воздушного гелиоколлектора. Поэтому была выполнена обработка экспериментальных исследований водяного плоского гелиоколлектора при естественной циркуляции теплоносителя в виде функциональной зависимости (3), учитывающей в том числе характеристику сопротивления и условия формирования естественного циркуляционного давления. Результаты вычислений представлены на рисунке 12, б.

На рисунка 12 можно отметить обобщающий характер параметра  $B$ , с использованием которого результаты эксперимента аппроксимируются выражением

$$\frac{q_{п}}{q_c} = 0,863B^{1,615}. \quad (7)$$

Выполненные исследования показали, что характеристику гелиоколлектора следует представлять различным образом в зависимости от его назначения – для системы с естественной циркуляцией или для системы с насосной циркуляцией теплоносителя. В технических решениях гелиосистем надо уделять внимание получению максимально возможного температурного потенциала теплоносителя. В системах с естественной циркуляцией теплоносителя максимально возможный потенциал достигается за счет свойств саморегулирования, присущих данным системам. В системах с насосной циркуляцией теплоносителя потенциал увеличивается с уменьшением его удельного расхода.

Как правило, рекомендуется задавать расход в гелиоконтуре в диапазоне 30–100 кг/(ч·м<sup>2</sup>). Для климата Беларуси максимальный тепловой эффект при развитой облачности достижим только при минимально возможном расчетном удельном расходе 20 кг/(ч·м<sup>2</sup>). Однако при повышении интенсивности солнечного излучения следует пропорционально повышать удельный расход до 40 кг/(ч·м<sup>2</sup>) в автоматическом режиме пропорционального регулирования.



Обозначения	$h$ , м	$F$ , м <sup>2</sup>	$S$ , Па·с <sup>2</sup> /кг <sup>3</sup>	$q_c$ , Вт/м <sup>2</sup>	$t_{нн}$ , °С
○	1,13	0,72	0,2266	280–580	10–20
⊙	1,13	0,72	0,2154	280–580	10–20
⊖	1,13	0,72	0,2216	280–580	10–20
▽	1,48	0,72	0,2344	290–550	5–25
△	1,48	0,72	0,2266	290–550	5–25
□	1,48	0,72	0,2154	290–550	5–25
◇	1,48	0,72	0,2216	290–550	5–25

Рисунок 12. – Зависимость КПД водяного плоского гелиоколлектора от комплексов

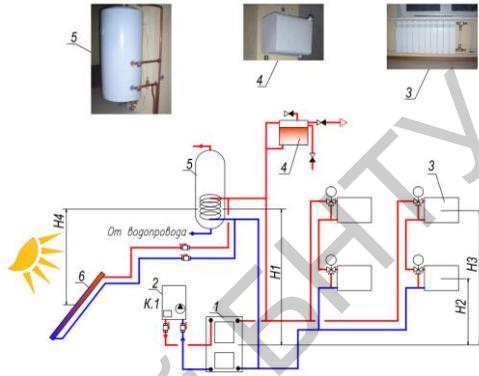
В пятой главе описываются особенности использования гелиосистем для индивидуальных и для многоквартирных жилых зданий. В технических решениях следует разрабатывать для гелиосистемы такие технические решения, которые могут эксплуатироваться работниками ЖЭС на базе соответствующей квалификации. Необходимо применять такие устройства для гелиосистем теплоснабжения и горячего водоснабжения, которые не требуют планового периодического обслуживания. Одним из таких решений является отказ от мембранных расширительных баков, заменив их расширительными баками специальной конструкции, которые работают под атмосферным давлением, а также нужно разработать баки-аккумуляторы требуемых объема и высоты для условий эксплуатации под атмосферным давлением. Предлагаемое решение для индивидуального жилого дома в эксплуатационных условиях Беларуси показано на рисунке 13.

По этому решению применяется гелиосистема с естественной циркуляцией, для расчета и проектирования которой следует применять методику, изложенную в главе 2. Применяется единый для гелиосистемы и системы отопления гидравлический контур, заполненный незамерзающей жидкостью. Используется одноконтурный бойлер с естественной циркуляцией от котла и гелиоколлектора с тепловым приоритетом последнего. Дровяной котел имеет функцию разделителя для газового котла, что предопределяет его тепловой приоритет относительно газового котла. Применяется традиционный «откры-

тый» расширительный бак, но специальной конструкции, исключаящий испарение воды из системы и предназначенный для сброса пара без сброса воды в случае закипания воды в дровяном котле.

- 1 – дровяной котел; 2 – котел на природном газе; 3 – потребитель (радиаторный узел);  
4 – «открытый» расширительный бак; 5 – одноконтурный бойлер горячего водоснабжения;  
6 – гелиоколлектор; на схеме фрагментарно показаны фотографии элементов реализованного проекта предлагаемого решения

Рисунок 13. – Теплоснабжение жилого дома усадебного типа



На схеме рисунка 14 показана предложенная автором для эксплуатационных условий Беларуси гелиосистема горячего водоснабжения, впервые реализованная при проектировании и возведении в г. Могилеве энергоэффективного демонстрационного десятиэтажного жилого дома в рамках Проекта Программы развития ООН и Глобального экологического фонда «Повышение энергетической эффективности жилых зданий в Республике Беларусь».

- 1 – два контура гелиоколлекторов общей площадью 413 м<sup>2</sup> (всего 232 шт.); 2 – буферный бак-аккумулятор объемом 14,2 м<sup>3</sup> с функцией расширительного бака с температурным расслоением по его высоте, работающий под атмосферным давлением;  
3 – скоростной теплообменник между гелиоконтуром и теплоносителем бака-аккумулятора;  
4 – насос с плавным изменением частоты вращения под действием электронного регулятора;  
5; 6 – воздушный фланцевый сепаратор; 7 – мембранный расширительный бак и система автоматической подпитки; 8, 9 – циркуляционные насосы контуров теплоносителя бака-аккумулятора; 10 – скоростной теплообменник между контуром теплоносителя бака-аккумулятора и системой горячего водоснабжения

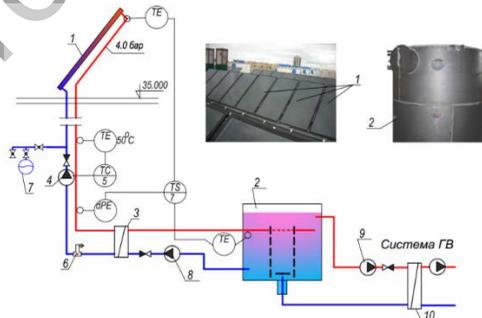


Рисунок 14. – Схема крупной гелиосистемы горячего водоснабжения для эксплуатационных условий Беларуси

На схеме фрагментарно показаны фотографии элементов гелиосистемы реализованного проекта энергоэффективного демонстрационного десятиэтажного жилого дома в г. Могилеве.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

### Основные научные результаты диссертации

1. Разработана тепловая модель использования солнечной энергии для жилого здания в Республике Беларусь, выполнен анализ способов для различных жилых домов, выявлены наиболее оптимальные методы пассивного использования солнечной энергии для жилых домов [1, 18, 26].

2. Научно обоснован комплекс определяющих параметров теплотехнических характеристик гелиоколлекторов в системах с естественной циркуляцией, состоящий из семи величин, в том числе гидравлических характеристик гелиосистемы [2, 4, 11]. Гелиоколлекторы, используемые для систем с естественной циркуляцией, в том числе водяные типа «арфа», должны быть аттестованы в зависимости не только от трех параметров, но и от дополнительных четырех параметров. Разработана методика расчета гелиосистем теплоснабжения жилых зданий [2, 4, 11, 17].

3. В результате экспериментального исследования гелиосистем теплоснабжения выявлен их оптимальный режим эксплуатации, обеспечивающий максимальное использование солнечной энергии [13–15]. Учитывая климат Беларуси, для получения максимального эффекта при малой интенсивности солнечного излучения следует принимать минимально возможный расчетный удельный расход  $20 \text{ кг/(ч}\cdot\text{м}^2)$  [5]. Выполнен анализ существующих конструкций и обосновано преимущество выбора плоского гелиоколлектора как оптимального варианта для применения в гелиосистемах теплоснабжения для эксплуатационных условий Республики Беларусь [2–4, 19, 26].

4. В результате анализа тепловых характеристик гелиоколлекторов выявлено, что гелиосистемы с естественной циркуляцией обеспечивают максимально высокий тепловой потенциал вне зависимости от гидравлических характеристик гелиосистемы. Эмпирическую зависимость для вычисления этого потенциала также необходимо вводить в требования по аттестации гелиоколлекторов в системах с естественной циркуляцией [1, 5].

5. Разработаны рекомендации по расчету, проектированию и эксплуатации гелиосистем теплоснабжения для жилых зданий в Беларуси [1, 6–10, 20–26]. Для получения максимальной теплопроизводительности при проектировании гелиосистем с естественной циркуляцией необходимо добиваться равенства характеристики сопротивления трубопроводов гелиосистемы характеристике сопротивления гелиоколлектора [1, 16, 18, 20–23, 26].

6. Разработана методика для проектирования гелиосистем теплоснабжения жилых зданий [6–10, 12, 16, 20–26]. Разработки диссертации внедрены при проектировании гелиосистемы горячего водоснабжения пилотного проекта жилого дома в г. Могилеве в рамках проекта международной технической помощи Программы развития ООН и Глобального экологического фонда «Повышение энергетической эффективности жилых зданий в Республике Беларусь» [1, 3, 5, 25]. Годовая теплопроизводительность запроектированной ге-

лиосистемы в виде эквивалентной величины «сэкономленного» за год условного топлива – 30,5 т у.т. (или 249 МВт·ч) (акт внедрения приложен к диссертации).

### **Рекомендации по практическому использованию результатов**

Разработаны практические рекомендации по проектированию гелиосистем горячего водоснабжения жилых зданий для эксплуатационных условий Республики Беларусь, которые были рассмотрены, утверждены и рекомендованы к использованию Министерством архитектуры и строительства Республики Беларусь и Министерством образования Республики Беларусь. В рекомендациях изложены необходимые теоретические и практические сведения о схемах гелиосистем горячего водоснабжения, применяемых для жилых многоквартирных зданий и зданий усадебного типа. Рассматриваются распространенные виды гелиоколлекторов с анализом преимуществ и недостатков оборудования применительно к условиям Республики Беларусь. Приведены примеры расчета гелиосистем [1, 26].

Рекомендации содержат методику подбора и расчета гелиосистемы с соответствующими обоснованиями и могут быть применены как для учебных, так и для практических целей использования солнечной энергии.

Результаты диссертационной работы были внедрены в 2014/2015 учебном году в учебный процесс на кафедре «Теплогасоснабжение и вентиляция» БНТУ при выполнении дипломных проектов, чтении лекций и проведении практических занятий по дисциплине «Отопление», а также в 2016/2017 учебном году при чтении лекций по дисциплине «Основы энергосбережения». Полученные результаты являются эффективным примером применения солнечной энергии в инженерных системах теплоснабжения с использованием современных подходов проектирования гелиосистем в условиях Республики Беларусь (акт внедрения приложен к диссертации).

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ

### Рекомендации по проектированию

1. Гелиосистемы теплоснабжения жилых зданий для эксплуатационных условий Республики Беларусь: рекомендации по проектированию / В. В. Покотилов, М. А. Рутковский. – Минск, 2017. – 60 с.

### Статьи в изданиях, включенных в перечень научных изданий Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований

2. К вопросу проектирования водонагревательных гелиосистем с плоскими коллекторами для домов усадебного типа / Б. М. Хрусталеv, В. В. Покотилов, М. А. Рутковский, Нгуен Тху Нга // Энергетика – Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. – 2011. – № 4. – С. 32–39.

3. Покотилов, В. В. Использование гелиосистем и других ВИЭ для теплоснабжения многоэтажных зданий / В. В. Покотилов, М. А. Рутковский // Энергоэффективность, департамент по энергоэффективности Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь. – 2014. – № 1 (195). – С. 16–20.

4. Хрусталеv, Б. М. Гелиосистемы теплоснабжения в жилищном строительстве в условиях климата Беларуси / Б. М. Хрусталеv, В. В. Покотилов, М. А. Рутковский // Строительство и реконструкция / ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК». Орел. – 2014. – № 5 (55). – С. 111–117.

5. Рутковский, М. А. Гелиосистемы жилых домов для эксплуатационных условий Республики Беларусь / М. А. Рутковский // Наука и техника. – 2017. – № 4 – С. 324–334.

### Статьи в научно-технических журналах

6. Покотилов, В. В. Гелиосистемы теплоснабжения зданий / В. В. Покотилов, М. А. Рутковский // Строительный рынок. – 2014. – № 1. – С. 19–23.

7. Гребеньков, А. Ж. Гелиосистемы горячего водоснабжения энергоэффективных зданий / А. Ж. Гребеньков, В. В. Покотилов, М. А. Рутковский // Мастерская. Современное строительство. – 2014. – № 2 (107). – С. 52.

8. Покотилов, В. В. Мини-котельная с использованием ВИЭ, но без насосов и контроллера / В. В. Покотилов, М. А. Рутковский // Аква-терм. – 2016. – № 1 (89). – С. 78–79.

9. Покотилов, В. В. Теплоснабжение усадебного дома с использованием возобновляемых источников энергии. Без контроллеров и насосов / В. В. Покотилов, М. А. Рутковский // Архитектура и строительство. – 2016. – № 2. – С. 36–37.

10. Покотилов, В. В. Гелиосистема ГВС многоквартирного дома / В. В. Покотилов, М. А. Рутковский // Аква-терм. – 2016. – № 3 (91). – С. 76–77.

**Материалы докладов на конференциях, семинарах, тезисы докладов**

11. Рутковский, М. А. Анализ основных характеристик водяных гелиоколлекторов и гелиосистем / М. А. Рутковский // Наука – образованию, производству, экономике : материалы IX Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 19–20 апреля 2011 г. : в 4 т. / Белорус. нац. техн. ун-т ; редкол. : Б. М. Хрусталеv, Ф. А. Романюк, А. С. Калиниченко. – Минск, 2011. – Т. 1. – С. 132.

12. Покотилоv, В. В. Особенности проектирования гелиосистем индивидуальных жилых домов / В. В. Покотилоv, М. А. Рутковский // Практика и проблемы проектирования, строительства и эксплуатации энергоэффективных жилых зданий в Республике Беларусь : информационные материалы Междунар. науч.-практ. семинара, Минск, 14 июля 2011 г. – Минск, 2011. – С. 88.

13. Рутковский, М. А. Методика экспериментального исследования гелиосистемы / М. А. Рутковский // Наука – образованию, производству, экономике : материалы X Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 17–18 апреля 2012 г. : в 4 т. / Белорус. нац. техн. ун-т ; редкол. : Б. М. Хрусталеv, Ф. А. Романюк, А. С. Калиниченко. – Минск, 2012. – Т. 1. – С. 132.

14. Покотилоv, В. В. Экспериментальное исследование водонагревательного гелиоколлектора при естественной циркуляции теплоносителя / В. В. Покотилоv, М. А. Рутковский // Наука – образованию, производству, экономике : материалы XI Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 16–17 апреля 2013 г. : в 4 т. / Белорус. нац. техн. ун-т ; редкол. : Б. М. Хрусталеv, Ф. А. Романюк, А. С. Калиниченко. – Минск, 2013. – Т. 1. – С. 149.

15. Рутковский, М. А. Экспериментальное исследование водонагревательного гелиоколлектора при насосной циркуляции теплоносителя / М. А. Рутковский // Наука – образованию, производству, экономике : материалы XI Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 16–17 апреля 2013 г. : в 4 т. / Белорус. нац. техн. ун-т ; редкол. : Б. М. Хрусталеv, Ф. А. Романюк, А. С. Калиниченко. – Минск, 2013. – Т. 1. – С. 150.

16. Покотилоv, В. В. Гелиосистемы горячего водоснабжения многоквартирных жилых домов / В. В. Покотилоv, М. А. Рутковский // Наука – образованию, производству, экономике: материалы XII Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 22–23 апреля 2014 г. : в 4 т. / Белорус. нац. техн. ун-т ; редкол. : Б. М. Хрусталеv, Ф. А. Романюк, А. С. Калиниченко. – Минск, 2014. – Т. 1. – С. 161.

17. Рутковский, М. А. Методика расчета гелиосистемы отопления с естественной циркуляцией / М. А. Рутковский // Наука – образованию, производству, экономике : материалы XII Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 22–23 апреля 2014 г. : в 4 т. / Белорус. нац. техн. ун-т ; редкол. : Б. М. Хрусталеv, Ф. А. Романюк, А. С. Калиниченко. – Минск, 2014. – Т. 1. – С. 162.

18. Гребеньков, А. Ж. Гелиосистемы горячего водоснабжения энергоэффективных зданий / А. Ж. Гребеньков, В. В. Покотилоv, М. А. Рутковский // Энергоэффективное строительство в Республике Беларусь : вопросы совре-

менного энергосбережения : сб. материалов VI Междунар. конф., Минск, 27 февраля 2014 г. – Минск, 2014. – С. 64–66.

19. Khroustalev, B. M. To the question of designing solar systems in residential buildings in the climatic conditions of Belarus / B. M. Khroustalev, V. V. Pokotilov, M. A. Rutkovsky // Science. Innovation. Production: proceedings of the 3rd Belarus-Korea forum, Minsk, 16–17 october 2014. – Minsk, 2014. – P. 49–50.

20. Покотилов, В. В. Методы «солнечной архитектуры» применительно к квартальной застройке из энергоэффективных жилых домов в условиях Республики Беларусь / В. В. Покотилов, М. А. Рутковский // Наука – образованию, производству, экономике : материалы XIII Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 21–22 апреля 2015 г. : в 4 т. / Белорус. нац. техн. ун-т; редкол. : Б. М. Хрусталеv, Ф. А. Романюк, А. С. Калиниченко. – Минск, 2015. – Т. 1. – С. 171–172.

21. Покотилов, В. В., Рутковский, М. А. Методика теплогидравлического расчета гелиосистем горячего водоснабжения энергоэффективных жилых домов в условиях Республики Беларусь / В. В. Покотилов, М. А. Рутковский // Наука – образованию, производству, экономике : материалы XIII Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 21–22 апреля 2015 г. : в 4 т. / Белорус. нац. техн. ун-т ; редкол.: Б. М. Хрусталеv, Ф. А. Романюк, А. С. Калиниченко. – Минск, 2015. – Т. 1. – С. 172–173.

22. Покотилов, В. В. Особенности использования солнечной энергии для повышения энергоэффективности многоквартирных жилых домов в условиях Беларуси / В. В. Покотилов, М. А. Рутковский // Энергоэффективное строительство в Республике Беларусь : современные технологии энергосбережения : сб. материалов VII Междунар. конференции, Минск, 26 февраля 2015 г. – Минск, 2015. – С. 32–36.

23. Покотилов, В. В. Способы модернизации инженерных систем усадебных домов с приоритетом возобновляемых источников энергии / В. В. Покотилов, М. А. Рутковский // Наука – образованию, производству, экономике : материалы XIV Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 19-20 апреля 2016 г. : в 4 т. / Белорус. нац. техн. ун-т ; редкол. : Б. М. Хрусталеv, Ф. А. Романюк, А. С. Калиниченко. – Минск, 2016. – Т. 1. – С. 184.

24. Покотилов, В. В. Энергоэффективные системы водяного отопления жилых домов и зональные системы / В. В. Покотилов, М. А. Рутковский // Наука – образованию, производству, экономике : материалы XIV Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 19–20 апреля 2016 г. : в 4 т. / Белорус. нац. техн. ун-т ; редкол. : Б. М. Хрусталеv, Ф. А. Романюк, А. С. Калиниченко. – Минск, 2016. – Т. 1. – С. 183.

25. Гребеньков, А. Ж. Энергоэффективность гелиосистем в жилищном строительстве / А. Ж. Гребеньков, В. В. Покотилов, М. А. Рутковский // Техническое регулирование строительной отрасли в современных условиях: сб. материалов II Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 19 мая 2016 г. – Минск, 2016. – С. 108–113.

**Справочное пособие**

26. Покотилов, В. В. Использование солнечной энергии для повышения энергоэффективности жилых зданий: справочное пособие / В. В. Покотилов, М. А. Рутковский. – Минск, 2015. – 64 с.

РЕПОЗИТОРИЙ БНТУ

## РЭЗІЮМЭ

Руткоўскі Максім Антонавіч

### Геліасістэмы цеплазабеспячэння жылых будынкаў ва ўмовах Беларусі

**Ключавыя словы:** геліасістэма гарачага водазабеспячэння, сонечная энергія, накладныя элементы на фасад, эфектыўнасць калектара, геліакалектар, бак-акумулятар.

**Мэта работы** – распрацоўка метадык інжынернага разліку для геліасістэм цеплазабеспячэння жылых дамоў: «пасіўных» прылад ацяплення будынка ў выглядзе геліасістэмы паветранага ацяплення з натуральнай цыркуляцыяй і геліасістэм гарачага водазабеспячэння з натуральнай і помпавай цыркуляцыяй цепланосбіта.

**Метады даследавання:** ужываліся лікавыя метады і кампутарная апрацоўка, сістэмны падыход на базе канцэпцыі максімізацыі цеплавога патэнцыялу, эксперыментальны метады. Выкарыстаны статыстычныя метады аналізу.

**Атрыманыя вынікі і іх навізна.** Абгрунтаваны комплекс вызначальных параметраў цеплатэхнічных характарыстык геліакалектараў. Атрымана колькасная адзнака цеплавой эфектыўнасці геліакалектараў. Геліасістэмы з натуральнай цыркуляцыяй забяспечваюць максімальна высокі патэнцыял награвальнага асяроддзя не залежна ад гідраўлічных характарыстык геліасістэмы. Распрацавана метадыка для праектавання геліасістэм цеплазабеспячэння жылых будынкаў для эксплуатацыйных умоў Беларусі, што дазваляе падабраць абсталяванне геліасістэмы з найменшымі капіталаўкладаннямі. Для атрымання максімальнай цеплапрадукцыйнасці пры праектаванні геліасістэм з натуральнай цыркуляцыяй неабходна дамагацца роўнасці характарыстыкі супраціву трубаправодаў геліасістэмы характарыстыцы супраціву геліакалектара.

**Рэкамендацыі па выкарыстанні.** Вынікі даследавання могуць быць выкарыстаны пры праектаванні геліасістэм цеплазабеспячэння для жылых будынкаў, а таксама ў навучальным працэсе.

**Галіна ўжывання:** будаўніцтва.

## РЕЗЮМЕ

Рутковский Максим Антонович

### Гелиосистемы теплоснабжения жилых зданий в условиях Беларуси

**Ключевые слова:** гелиосистема горячего водоснабжения, солнечная энергия, накладные элементы на фасад, эффективность коллектора, гелиоколлектор, бак-аккумулятор.

**Цель работы** – разработка методик инженерного расчета для гелиосистем теплоснабжения жилых домов: «пассивного» устройства отопления здания в виде гелиосистемы воздушного отопления с естественной циркуляцией и гелиосистем горячего водоснабжения с естественной и насосной циркуляцией теплоносителя.

**Методы исследования.** Применялись численные методы и компьютерная обработка, системный подход на базе концепции максимизации теплового потенциала, экспериментальный метод. Использованы статистические методы анализа.

**Полученные результаты и их новизна.** Обоснован комплекс определяющих параметров теплотехнических характеристик гелиоколлекторов. Получена количественная оценка тепловой эффективности гелиоколлекторов. Гелиосистемы с естественной циркуляцией обеспечивают максимально высокий потенциал нагреваемой среды вне зависимости от гидравлических характеристик гелиосистемы. Разработана методика для проектирования гелиосистем теплоснабжения жилых зданий для эксплуатационных условий Беларуси, что позволяет подобрать оборудование гелиосистемы с наименьшими капиталовложениями. Для получения максимальной теплопроизводительности при проектировании гелиосистем с естественной циркуляцией необходимо добиваться равенства характеристики сопротивления трубопроводов гелиосистемы характеристике сопротивления гелиоколлектора.

**Рекомендации по использованию.** Результаты исследования могут быть использованы при проектировании гелиосистем теплоснабжения для жилых зданий, а также в учебном процессе.

**Область применения:** строительство.

## SUMMARY

Rutkowski Maksim

### Solar systems of heat supply of residential buildings in Belarus

**Keywords:** solar system of hot water supply, solar energy, overhead elements on the facade, collector efficiency, solar collector, accumulator tank.

**Objective:** development of engineering calculation methods for solar heating systems for residential buildings: a "passive" device for heating a building in the form of a solar heating system with natural circulation and hot water systems with natural and pumping coolant circulation.

**Research Methods.** Numerical methods and computer processing, a system approach based on the concept of maximizing the thermal potential, the experimental method were applied. Statistical methods of analysis are used.

**Obtained results and their novelty.** The complex of determining parameters of thermal characteristics of solar collectors is substantiated. A quantitative evaluation of the thermal efficiency of solar collectors has been obtained. Solar systems with natural circulation provide the maximum potential of the heated coolant, regardless of the hydraulic characteristics of the solar system. A methodology has been developed for designing solar heating systems for residential buildings for the operational conditions of Belarus, which makes it possible to select the solar system equipment with the least investment. To obtain the maximum heat output in the design of solar systems with natural circulation, it is necessary to achieve the equality of the resistance characteristics of the solar system pipelines to the resistance characteristic of the solar collector

**Recommendations for use.** The results of the research can be used in the design of solar heating systems for residential buildings, as well as in the educational process.

**Application field:** construction.

Репозиторий БНТУ

Научное издание

**РУТКОВСКИЙ**  
**Максим Антонович**

**ГЕЛИОСИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ  
В УСЛОВИЯХ БЕЛАРУСИ**

**Автореферат**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

по специальности 05.23.03 – Теплоснабжение, вентиляция,  
кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение

Подписано в печать 12.10.2017.

Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная. Ризография.

Усл. печ. л. 1,51. Уч.-изд. л. 1,18. Тираж 80. Заказ 887.

---

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя  
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.