

doi: 10.5862/MCE.58.4

Поливалентная система теплообеспечения пассивного дома на основе возобновляемых источников энергии

A polyvalent heating system for a passive house based on renewable energy sources

Д-р техн. наук, заместитель директора по научной работе Б.И. Басок, младший научный сотрудник И.К. Божко, канд. техн. наук, старший научный сотрудник А.Н. Недбайло, младший научный сотрудник О.Н. Лысенко, Институт технической теплофизики НАН Украины, Киев, Украина

B.I. Basok, I.K. Bozhko, A.N. Nedbaylo, O.N. Lysenko, Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kiev, Ukraine

Ключевые слова: поливалентная система теплообеспечения; тепловые насосы; теплый пол; капиллярный теплый пол; грунтовой теплообменник; пассивный дом; возобновляемые источники энергии.

Key words: polyvalent system heating; heat pumps; floor heating; capillary heated floor; ground heat exchangers; passive house; renewable energy.

Аннотация. В статье рассмотрена концепция создания поливалентной системы теплообеспечения дома пассивного типа, построенного на территории Института технической теплофизики Национальной академии наук Украины. Приводится краткий анализ распространенных систем отопления, которые применяются в жилищно-коммунальном секторе, в общественных и промышленных зданиях. Авторами описываются основные этапы развития принципиальной гидравлической схемы поливалентной системы теплообеспечения пассивного дома на основе возобновляемых источников энергии. Приводятся основные режимы работы в зависимости от периода года, температуры окружающей среды и технологических особенностей работы системы. Показана целесообразность применения теплонасосных технологий при теплообеспечении энергоэффективных и пассивных домов.

Abstract. The article describes the concept of creating a polyvalent heating system for a passive house situated on the premises of the Institute of Technical Thermal Physics of the National Academy of Sciences of Ukraine. A brief analysis of common heating systems used in the residential sector, and public and industrial buildings is conducted. The authors describe the main stages of developing the principal hydraulic circuit of a polyvalent heating system for a passive house from renewable energy sources. The basic modes of operation depending on the period of year, the ambient temperature and technological features are listed. The advisability of using the heat pump technology in supplying heat to energy-efficient and passive houses is demonstrated.

Сочетание архитектурных приемов с технологическими особенностями поддержания комфортных санитарно-гигиенических условий в помещениях различного назначения является неотъемлемой составляющей современного энергоэффективного строительства. Мировые тенденции в повышении энергетической эффективности систем теплоснабжения в целом направлены на использование природных возобновляемых источников энергии, сбросных вторичных энергоресурсов, децентрализацию поставки теплоты, а также переход на низкотемпературные отопительные системы. Новейшие системы теплообеспечения энергоэффективных зданий во многих случаях являются комбинированными, с высокой степенью автоматизации управления процессами поддержания параметров температурно-влажностного режима.

Низкотемпературные системы отопления имеют температуру поверхности теплообмена, не превышающую 30...40 °С. Основным механизмом передачи теплоты (70 %) в таких системах является свободная конвекция воздуха вдоль нагретой поверхности с постепенным перемешиванием его в объеме помещения. Радиационная составляющая теплообмена здесь Басок Б.И., Божко И.К., Недбайло А.Н., Лысенко О.Н. Поливалентная система теплообеспечения пассивного дома на основе возобновляемых источников энергии

невысокая – до 30 %. В качестве примера можно привести такие системы отопления, как водяные (в том числе капиллярные) и электрические (кабельные системы) теплые полы, стены или потолки; воздушная система отопления и кондиционирования с помощью фэнкойлов (воздушных теплообменников); пленочные системы отопления; бытовые и промышленные сплит-системы, чиллеры и т. д. Низкотемпературные системы отопления с использованием теплонасосных технологий крайне энергоэффективны в жилых и административных зданиях.

Среднетемпературные системы отопления имеют температуру в диапазоне 40...65 °С. При этом имеет место совокупность конвективного (60 %) и радиационного (40 %) теплообмена отопительных приборов, соответственно, с воздухом и с предметами в помещении. Классические примеры таких систем – радиаторно-конвекторная система, твердотельный электрический аккумулятор теплоты, использующий льготный тариф «ночного провала» потребления, и т. д. Среднетемпературные системы отопления распространены в жилых, административных и промышленных зданиях различного назначения. Источником теплоты для них обычно выступает теплоноситель от централизованного снабжения: ТЭЦ, котельные, когенерационные установки. Также целесообразно использование таких систем с тепловыми насосами различных типов.

Высокотемпературные системы отопления имеют температуру нагревателя, превышающую 80 °С. Основной механизм теплообмена – концентрированное излучение в инфракрасном спектре волн, от 60 % и более с ростом температуры, а также повышением излучательной способности поверхности прибора. Как пример можно привести излучатели с керамическими, металлическими или полупроводниковыми электронагревательными элементами, которые снабжены рефлекторами. Такие системы целесообразно использовать в помещениях, где требуется зональный подогрев, с большой высотой потолка или на открытой территории. В основном широкое распространение они получили в производственных помещениях, сельском хозяйстве, а также при использовании в промышленных технологических целях.

В Институте технической теплофизики НАН Украины (ИТТФ НАН Украины) накоплен значительный опыт выполнения научных и технологических исследований по модернизации коммунальной теплоэнергетики, проведения научно-исследовательских и инженерных работ по разработке и созданию современных систем теплоснабжения. Создание и апробация таких энергосберегающих технологий низко- и среднетемпературных систем теплоснабжения с использованием возобновляемых альтернативных источников энергии (низкопотенциальной теплоты грунта, атмосферного воздуха, водоемов, сбросной теплоты промышленных предприятий) на основе тепловых насосов различных типов представляют возможность комплексного решения проблемы теплообеспечения зданий. Такие технические решения обеспечивают значительное снижение затрат на эксплуатацию, являются экологически чистыми, приводят к существенной экономии природного газа, а в отдельных случаях – к его замещению. Кроме того, это позволяет частично использовать энергию «ночного провала» в электропотреблении.

Использование теплонасосных систем с возобновляемыми источниками энергии – это реальная альтернатива органическим топливам как источникам энергии. На трансформацию одной единицы теплоты теплонасосная установка тратит в три и менее раз электрической энергии. Объемный сезонный аккумулятор является одним из дополнительных источников теплоты в холодный период года и может обеспечить эффективную работу теплонасосной установки.

В литературе все большее внимание уделяется оценке эффективности и внедрению теплонасосных технологий в системы теплообеспечения потребителей. Так, в работах [1–3] рассмотрены принципиальные схемы таких систем, описаны основные преимущества применения теплонасосных технологий в сравнении с централизованным теплоснабжением. В работах [4–8] описаны концепции, а также на примерах показана эффективность применения тепловых насосов. В работах [9–11] отмечено, что чем выше коэффициент термического сопротивления ограждающих конструкций, тем выгоднее применение теплонасосных технологий для отопления, вентиляции и горячего водоснабжения зданий. Это связано с невысокими температурами теплоносителя на выходе из теплового насоса, переходом от радиаторного отопления к напольному (теплый пол) и применением баков-аккумуляторов в системах горячего водоснабжения.

В работе [12] описано применение тепловых насосов и их интеграция в систему вентиляции здания. При этом отмечено, что эффективность такой системы повышается при предварительном подогреве атмосферного воздуха, поступающего на нужды вентиляции.

Basok B.I., Bozhko I.K., Nedbaylo A.N., Lysenko O.N. A polyvalent heating system for a passive house based on renewable energy sources

Также авторы рассматривают технические и технологические аспекты внедрения теплонасосных технологий и обозначают актуальность возникающих при этом вопросов и проблем. Так, в работах [13, 14] рассмотрено внедрение теплонасосных технологий, описано влияние различных факторов на выбор типа теплового насоса и области его применения, показаны целесообразность и возможный экономический эффект от таких мероприятий. Также приведены возможные решения тех или иных проблем при реализации проектов. Работа [15] показывает пути оптимизации и технической поддержки работы тепловых насосов при их интеграции в системы теплоснабжения.

Ряд работ [16–20] посвящен энергетическому и эксергетическому анализу применения теплонасосных технологий при теплообеспечении потребителей. Отмечено, что максимальная эффективность достигается при создании комбинированных систем теплоснабжения, которые включают в себя тепловой насос и солнечные коллекторы.

Однако в литературе недостаточно освещены вопросы создания комбинированных систем. При этом если системы с несколькими источниками теплоты для отопления и горячего водоснабжения с применением тепловых насосов и солнечных коллекторов рассматриваются часто [21–23], то системы с комбинацией различных отопительных приборов – крайне редко.

Учитывая вышесказанное, коллектив авторов задался целью разработать научные основы создания и функционирования комбинированной (как по источникам тепловой энергии, так и по отопительным приборам) системы теплообеспечения пассивного дома на примере полномасштабного натурного стенда, созданного на территории Института технической теплофизики НАН Украины в Киеве (рис. 1.). Задача исследования – показать идеологию и основные этапы создания, а также определить возможности последующего широкого внедрения вышеупомянутой системы на объектах жилищно-коммунального хозяйства.

Коллективом исполнителей разработаны схемные технические решения системы отопления лабораторного помещения ИТТФ НАН Украины площадью 18 м² [24], а также определены предварительные технико-экономические обоснования целесообразности эксплуатации таких систем с использованием солнечных коллекторов в частном секторе [25]. Оригинальные подходы предыдущих проектов [26, 27] были использованы при разработке комплексных решений по теплообеспечению пассивного дома общей площадью 300 м² как будущего прототипа «дома нулевой энергии» (энергоавтономный).

При проектировании и строительстве пассивного дома ориентация стен была проработана в строгом соответствии со сторонами света, использовались соответствующие архитектурные приемы для минимизации тепловых потерь через ограждающие конструкции [28–31]. Наружные стены выполнены из комбинаций различных строительных материалов, то есть представляют собой многослойную панель с утеплителем из пенополистирола. Для повышения термического сопротивления светопрозрачных конструкций было принято решение расположить по две оконные конструкции в каждом из проемов одна за другой, то есть сделать «двойные окна».



Рисунок 1: а) общий вид пассивного дома; б) пассивный дом с утеплением ограждающих конструкций

Басок Б.И., Божко И.К., Недбайло А.Н., Лысенко О.Н. Поливалентная система теплообеспечения пассивного дома на основе возобновляемых источников энергии

Наружные ограждающие конструкции рассматриваемого пассивного дома имеют следующие коэффициенты теплопередачи:

- наружные стены – от 0,09 до 0,13 Вт/(м²·°С);
- окна – 0,26 Вт/(м²·°С);
- крыша – 0,21 Вт/(м²·°С);
- пол цокольного этажа – 0,35 Вт/(м²·°С).

В экспериментальном доме реализованы: автономная комбинированная система теплообеспечения на основе возобновляемых источников энергии с использованием восстанавливаемой теплоты грунта, система приточно-вытяжной вентиляции с рекуперацией теплоты, а также используется солнечная энергия.

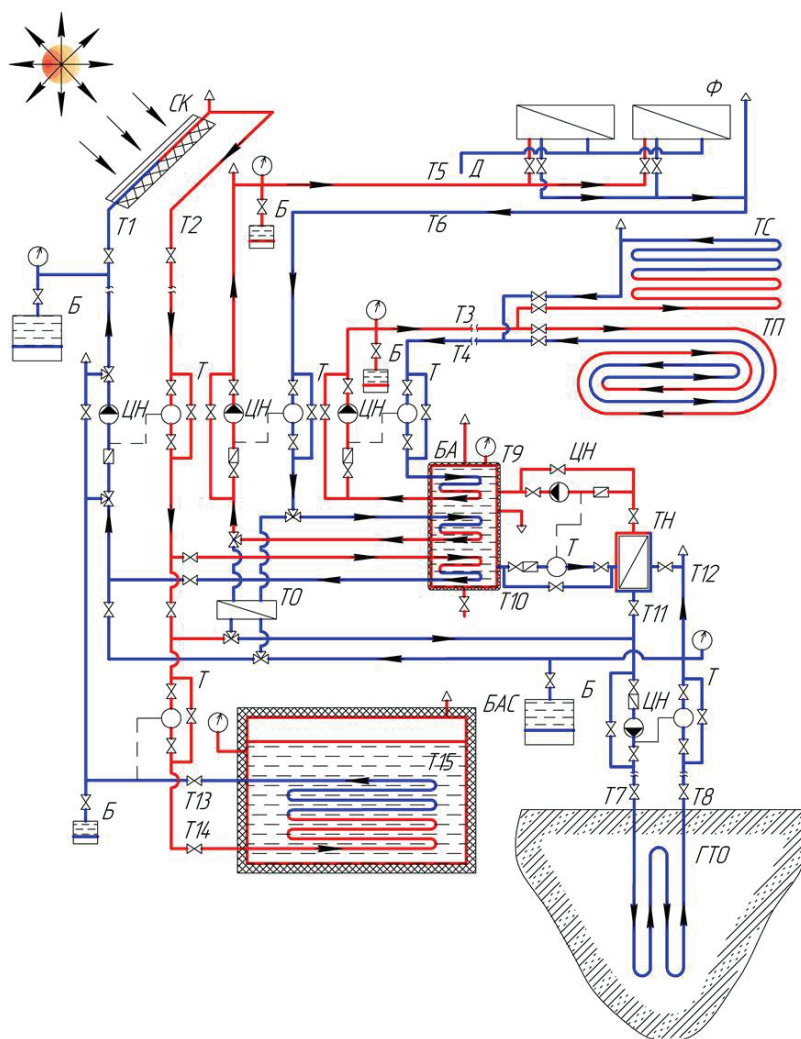


Рисунок 2. Принципиальная гидравлическая схема системы теплоснабжения энергоэффективного дома, где Б – баки-экспанзоматы, БА – бак-аккумулятор, БАС – бак-аккумулятор сезонный, ГТО – грунтовый теплообменник, Д – дренаж, СК – солнечные коллекторы, ТН – тепловой насос, ТО – теплообменник пластинчатый, ТП – теплый водяной пол, ТС – теплая водяная стена, ЦН – циркуляционные насосы, Т – теплосчетчики, Ф – фэнкойлы, Т1...Т15 – датчики температуры, $T1 \geq T2$ – циркуляционный насос выключен

Схема предусматривает:

- размещение солнечных тепловых коллекторов на односкатной крыше дома под оптимальным для данной местности углом 33° с южной стороны дома;
- расположение теплового насоса и сезонных объемных баков-аккумуляторов теплоты (водяной и парафиносодержащий) в цокольном этаже дома;
- водозабор технической воды из скважины рядом;

- использование систем водяного отопления типа теплый водяной пол и стена, теплая капиллярная стена;
- электрический теплый пол (электрокабельная система в отдельных помещениях);
- воздушная система отопления и кондиционирования на основе фэнкойлов;
- рекуперативная система принудительной вентиляции дома с грунтовыми воздушными теплообменниками.

Гидравлическая схема системы теплоснабжения приведена на рисунке 2. Основными принципами ее разработки являются минимизация длины трубопроводов с возможностью реверсного движения теплоносителя по некоторым участкам, уменьшение количества контрольно-измерительных приборов благодаря использованию одной и той же единицы последних в различных технологических режимах (при соответствующей коммутации движения теплоносителя). Также предполагается многовариантность эксплуатации системы с выбором источника теплоснабжения и отделения отопительных приборов и систем для сравнения их энергоэффективности.

Измерение количества теплоты обеспечивается установкой во всех контурах теплосчетчиков, реализующих автоматическую регистрацию показаний на компьютере с разной периодичностью. Все датчики температуры используются с цифровыми вторичными приборами, позволяющими в режиме реального времени вести записи, их последующую обработку и анализ с помощью специального программного обеспечения.

Доработав конструкцию отдельных контуров и расширив перечень теплообменников – источников низкопотенциальной теплоты для теплового насоса, а также увеличив количество отопительных приборов, авторы разработали принципиальную гидравлическую схему комбинированной системы теплообеспечения пассивного дома, которая приведена на рисунке 3.

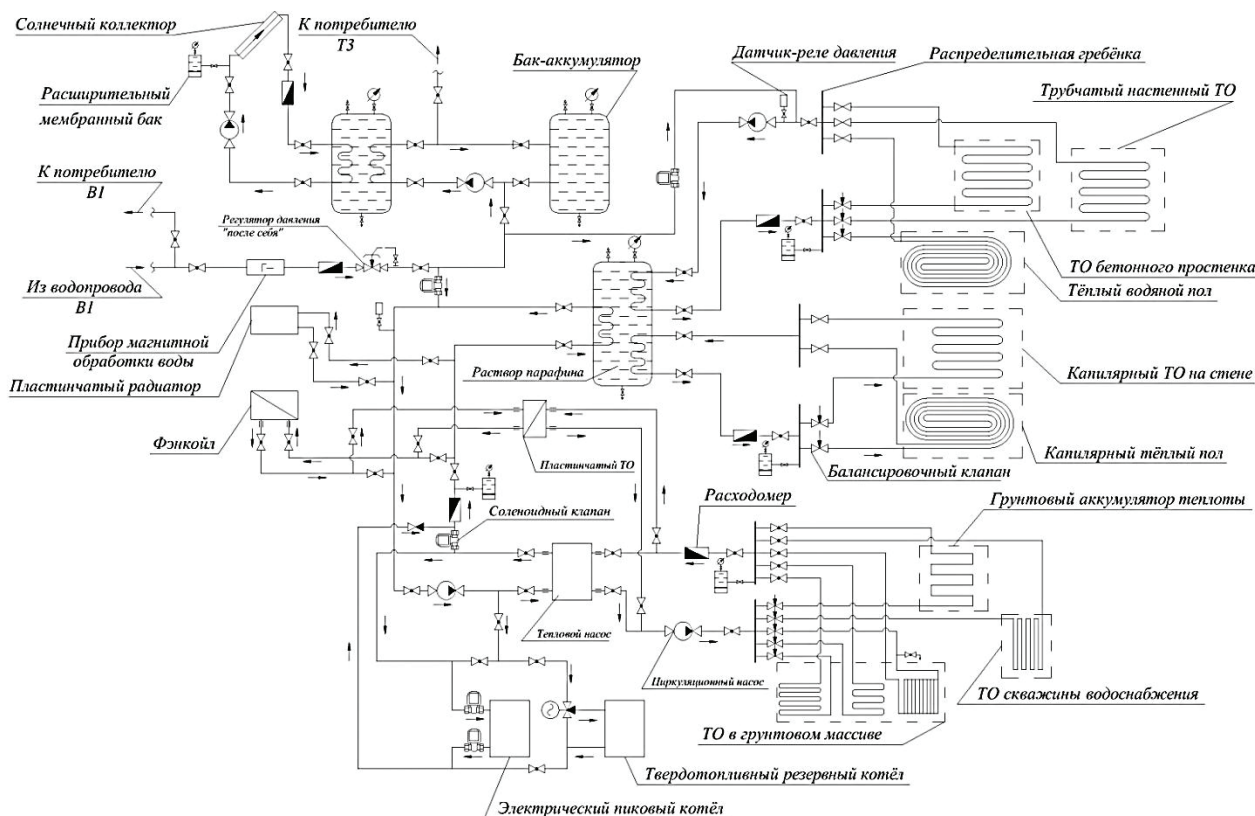


Рисунок 3. Принципиальная гидравлическая схема комбинированной системы теплоснабжения пассивного дома

Дальнейшее развитие принципиальной гидравлической схемы (рис. 3) основано на реализации 8 режимов работы в различные периоды года. Астрономический год согласно ДБН В.2.5.67-2013 «Отопление, вентиляция и кондиционирование» [32] разбит на три периода: летний, переходный и зимний. Рассмотрим каждый режим работы комбинированной системы теплообеспечения пассивного дома детально.

Басок Б.И., Божко И.К., Недбайло А.Н., Лысенко О.Н. Поливалентная система теплообеспечения пассивного дома на основе возобновляемых источников энергии

Летний период. В летний период принято, что среднесуточная температура наружного воздуха не опускается ниже $+21\text{ }^{\circ}\text{C}$. Основной задачей в это время является кондиционирование воздуха в помещениях. Системой теплообеспечения предусмотрено два независимых варианта кондиционирования, которые схематично представлены на рисунках 4а и 4б.

Первая схема кондиционирования основана на применении теплообменных аппаратов типа «грунт – воздух» (рис. 4а), которые расположены в грунтовом массиве на территории ИТТФ НАН Украины в Киеве. Теплообменники выполнены из труб наружным диаметром 110 мм, материал – НПВХ. Прокачиваемый с помощью осевого вентилятора по трубам наружный воздух охлаждается в грунтовом массиве до температуры, близкой к $+8\text{ }^{\circ}\text{C}$ и направляется на рекуператор системы вентиляции. Таким образом, осуществляется централизованное кондиционирование всего дома.

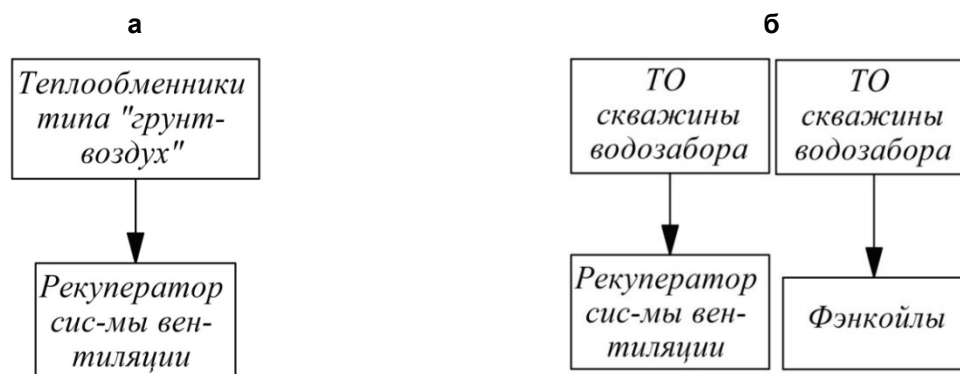


Рисунок 4: а) кондиционирование с использованием теплообменников «грунт–воздух»; б) кондиционирование с использованием теплообменника скважины водозабора

При необходимости может быть задействована вторая схема, предполагающая более интенсивное кондиционирование (рис. 4б), с использованием теплообменника скважины водозабора (теплоноситель – вода). Внутренний воздух, проходя через рекуператор системы вентиляции, нагревает охлаждающую его воду. Далее вода контура рекуператора охлаждается в теплообменном аппарате скважины водозабора за счет проточной воды из скважины с температурой около $+12\text{ }^{\circ}\text{C}$, поступающей на водоснабжение дома.

При необходимости дополнительно предусмотрена возможность зонального кондиционирования отдельных помещений за счет установки фэнкойлов. Подключение фэнкойлов и рекуператора системы вентиляции осуществляется с использованием насоса с частотно регулируемым приводом для перекачивания охлаждающей воды.

Второй задачей системы теплообеспечения в летний период является приготовление горячей воды и восстановление грунтового аккумулятора теплоты (рис. 5).

Основным источником тепловой энергии для нужд горячего водоснабжения являются тепловые солнечные коллекторы, установленные на крыше дома. Холодная вода из скважины поступает на станцию повышения давления и далее закачивается в баки-накопители холодной и горячей воды. Последние отличаются тем, что являются бойлерами косвенного нагрева с водяной «рубашкой» и встроенным электрическим нагревателем. Во внутреннюю секцию поступает холодная вода из станции повышения давления. Во внешнюю – нагретый в солнечных коллекторах раствор этиленгликоля. За счет этого происходит приготовление горячей воды. После заполнения обоих баков станция автоматически отключается в целях экономии электроэнергии. В случае, когда нет поступления солнечной энергии и происходит остывание горячей воды, в баке-накопителе автоматически включается электрический нагреватель.

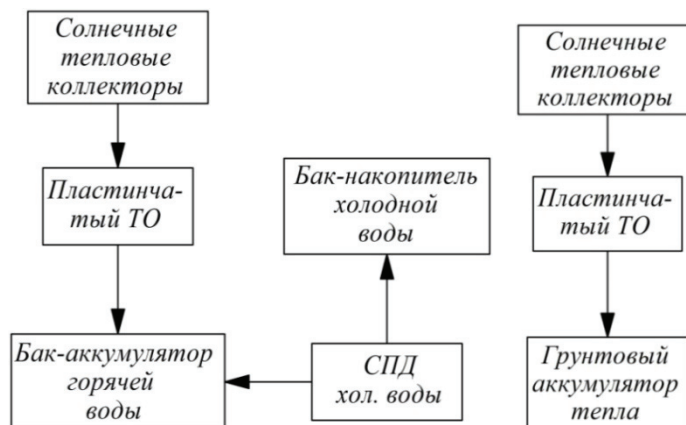


Рисунок 5. Приготовление горячей воды и регенерация грунтового аккумулятора теплоты

При профиците теплоты, полученной от солнечных коллекторов, нагретый раствор этиленгликоля прокачивается через пластинчатый теплообменник и, подогревая воду, восстанавливает тепловое состояние грунтового аккумулятора теплоты. В переходный и зимний периоды аккумулятор используется в качестве низкопотенциального источника теплоты для теплового насоса.

Переходный период. В течение переходного периода среднесуточная температура наружного воздуха колеблется в пределах от +8 до +21 °С. В этих условиях основными задачами являются работа системы ГВС и покрытие тепловых потерь пассивного дома за счет работы системы вентиляции. Схема теплоснабжения в этот период представлена на рисунке 6.

Приготовление горячей воды в переходный период осуществляется по той же схеме, что и летом.

При понижении температуры внутреннего воздуха в двух и более помещениях ниже +20 °С часть нагретого в солнечных коллекторах раствора этиленгликоля поступает на пластинчатый теплообменный аппарат и нагревает воду, которая, в свою очередь, поступает на рекуператор системы вентиляции. Понижение температуры в двух и более помещениях принято для минимизации влияния человеческого фактора (например, наличие открытого окна) на автоматику системы теплообеспечения.

При сохранении тенденции снижения температуры внутреннего воздуха после заданного промежутка времени работы пластинчатого теплообменника происходит его отключение и включение теплового насоса. Этот механизм действует в ночные периоды или при снижении интенсивности солнечного излучения за счет облачности.

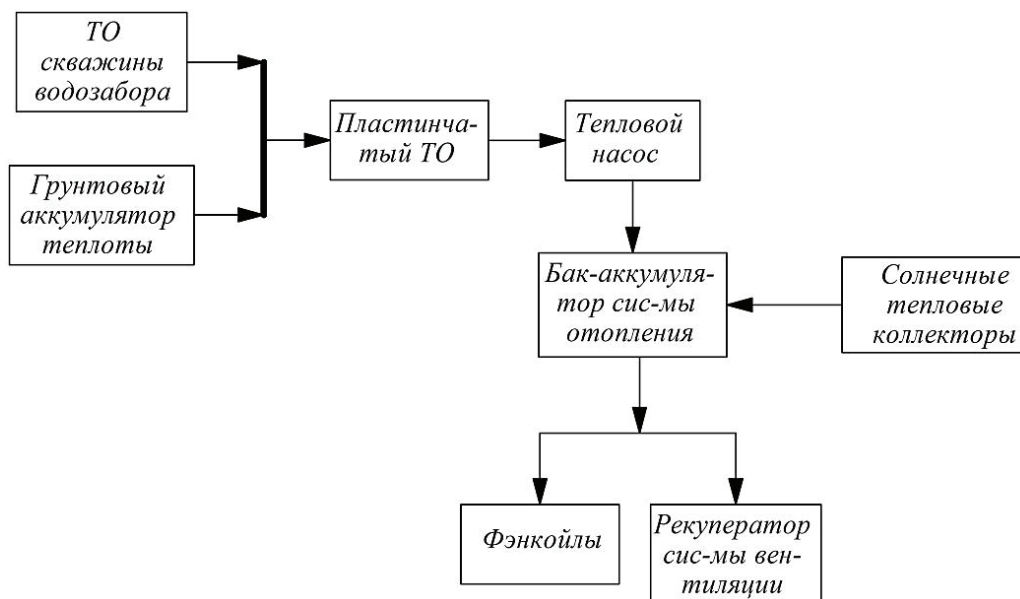


Рисунок 6. Работа системы теплообеспечения в переходный период года

Басок Б.И., Божко И.К., Недбайло А.Н., Лысенко О.Н. Поливалентная система теплообеспечения пассивного дома на основе возобновляемых источников энергии

В качестве источников низкопотенциальной тепловой энергии для теплового насоса предусмотрен набор теплообменников. Каждый из них имеет свой приоритет. Смена источника возможна как в автоматическом, так и в ручном режимах. В переходный период при включении теплового насоса первым источником низкопотенциальной энергии для него служит теплообменник скважины водозабора.

Тепловые потери дома в переходный период будут компенсироваться за счет работы системы вентиляции. Для повышения температуры внутреннего воздуха в отдельных помещениях возможно использование фэнкойлов. При снижении температурного потенциала водозаборной скважины до уровня, который не может обеспечить стабильную работу, происходит переключение источника низкопотенциальной энергии теплового насоса с теплообменника скважины водозабора на грунтовый аккумулятор теплоты.

Также в переходный период происходит зарядка бака-аккумулятора системы отопления. В зимний период его предполагается использовать для приготовления теплоносителя для низкотемпературных отопительных приборов.

Зимний период. Система теплообеспечения переключается в зимний режим работы при сохранении среднесуточной температуры наружного воздуха ниже $+8\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение трех суток. Основная задача в данный период – поддержание температуры внутреннего воздуха на уровне $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ вне зависимости от температуры наружного воздуха. Схема работы в зимний период представлена на рисунке 7.

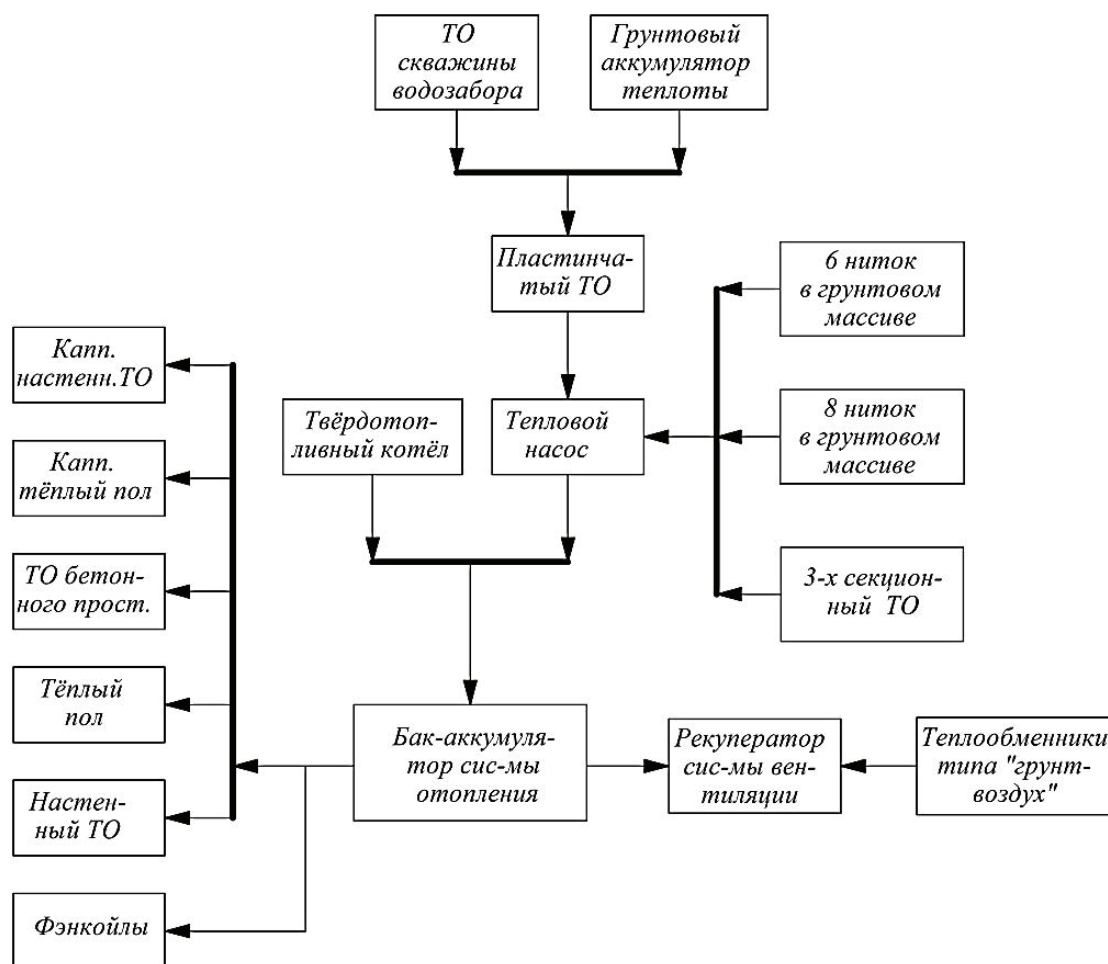


Рисунок 7. Работа системы теплообеспечения в зимний период

Основным источником теплоты для отопительных приборов в этом случае выступает тепловой насос. Также используются твердотопливный котел и миникогенерационная установка.

Приготовление горячей воды выполняется по уже знакомой нам схеме.

Отопление помещений реализуется как системой вентиляции и фэнкойлов, так и низкотемпературными отопительными приборами. Основные отопительные приборы: водяной

теплый пол, капиллярный теплый пол, трубчатый и капиллярный настенные теплообменники и теплообменник, вмонтированный в бетонную стену. В качестве резервного отопительного прибора выступает электрический теплый пол, который размещен перед входной дверью. Низкотемпературные отопительные приборы подключаются к тепловому насосу через бак-аккумулятор.

Особое внимание следует уделить группе теплообменников – источников низкпотенциальной теплоты для теплового насоса. Кроме теплообменника скважины водозабора и грунтового аккумулятора теплоты, предусмотрена еще группа теплообменников, расположенных в грунтовом массиве на территории ИТТФ НАН Украины.

В эту группу входят одноходовой теплообменник в виде 6 ниток трубы наружным диаметром 32 мм, образующих 3 петли длиной 15 м, а также 8 ниток трубы наружным диаметром 32 мм, образующих 4 петли длиной 20 м. Также представлен многоходовой паяный теплообменник, состоящий из 3 секций, материал – ПЕ100 с наружным диаметром трубы 40 мм.

На принципиальной гидравлической схеме комбинированной системы теплообеспечения пассивного дома (рис. 8) показано движение теплоносителей в контурах, основное и вспомогательное оборудование.

Удельные тепловые нагрузки на отопительные приборы пассивного дома (максимальная плотность теплового потока):

- теплый пол электрический – 12 % (до 30 Вт/м²);
- теплый пол водяной – 25 % (до 50 Вт/м²);
- теплая стена водяная – 18 % (до 40 Вт/м²);
- теплая стена капиллярная – 15 % (до 25 Вт/м²);
- воздушные отопительные приборы (фэнкойлы) – 30 %.

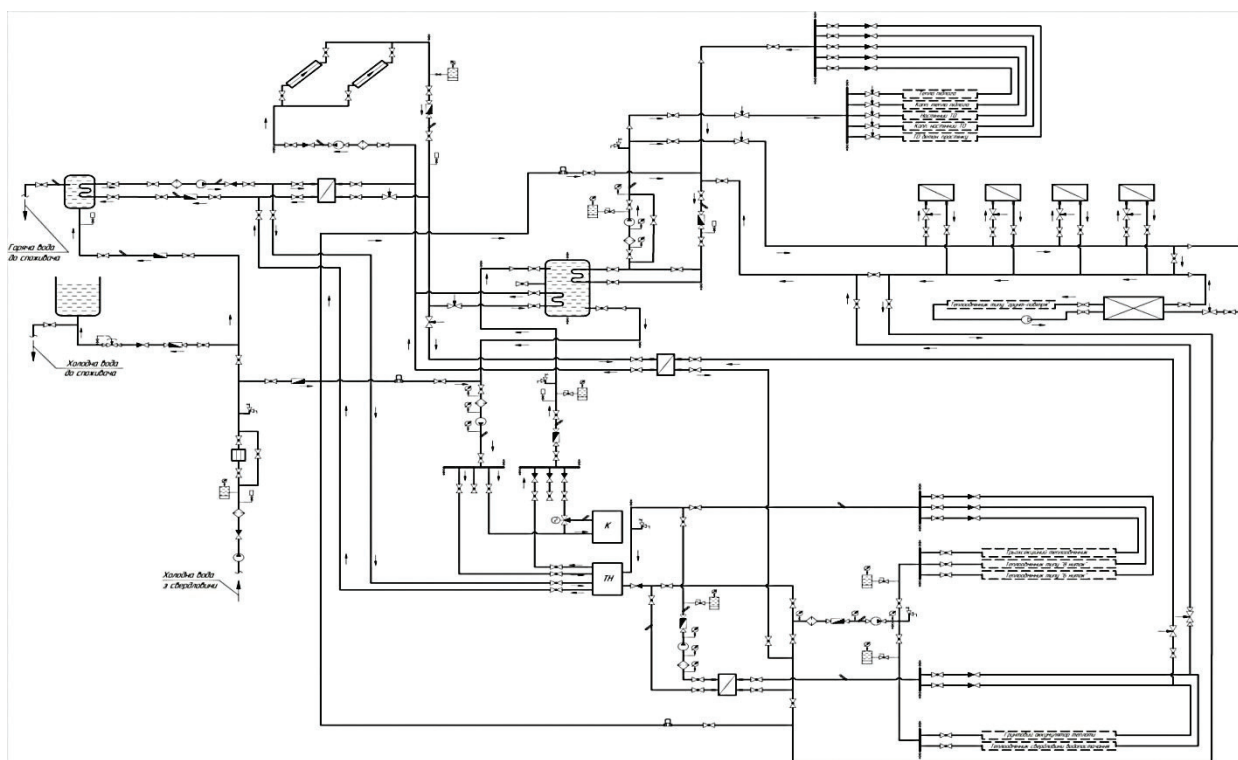


Рисунок 8. Принципиальная гидравлическая схема комбинированной системы теплообеспечения пассивного дома на основе возобновляемых источников энергии

Таким образом, коллективом авторов представлены основные этапы создания и режимы работы комбинированной системы теплообеспечения дома пассивного типа площадью 300 м². В настоящее время выполняется монтаж системы и установка контрольно-измерительного оборудования в помещениях дома. По результатам работы можно сделать следующие выводы.

1. Показано, что современное энергоэффективное строительство нуждается в разработке и внедрении комбинированных систем теплообеспечения на основе возобновляемых источников энергии.

2. Предложена концепция круглогодичной работы системы теплообеспечения пассивного дома, которая, по мнению авторов, позволяет значительно повысить комфорт в помещениях различного назначения.

3. Данная схема может быть применена как в бюджетной сфере (при строительстве или термомодернизации существующих детских садов, школ и т.д.), так и в частной застройке (коттеджи, дачи, загородные дома).

Литература

1. Шабанов В. Кольцевые теплонасосные системы // Тепловые насосы. 2013. № 6 (15). С. 28–34.
2. Ibrahim O., Fardoun F., Younes R, Louahlia-Gualous H. Review of water-heating systems: General selection approach based on energy and environmental aspects // Building and Environment. 2014. Vol. 72. Pp. 259–286.
3. Мазуренко А.С., Klimchuk А.А., Юрковский С.Ю., Омеко Р.В. Разработка схемы комбинированной системы теплоснабжения с использованием сезонного аккумулирования тепла от гелиосистем // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2015. №8(73). С. 17–20.
4. Аверьянова О.В. Климатические системы с тепловыми насосами и водяным контуром // Инженерно-строительный журнал. 2009. №2. С. 19–22.
5. Fong K.F., Chow T.T., Hanby V.I. Development of Optimal Design of Solar Water Heating System by Using Evolutionary Algorithm // Journal of Solar Energy Engineering. 2006. Vol.129. №4. Pp. 499–501.
6. Мазуренко О.А., Klimchuk А.А., Шраменко А.Н., Сычева Е.А. Сравнительный анализ систем децентрализованного теплоснабжения жилых домов с использованием электроэнергии // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2014. №8(71). С. 21–25.
7. Стрижак П.А., Морозов М.Н. Энергоэффективность системы теплоснабжения зданий при различных методах регулирования теплотребления // Научно-технические ведомости СПбГПУ. 2014. №3(202). С. 88–96.
8. Бусо Т., Корнати С.П., Курнитски Я. Отель с почти нулевым потреблением энергии // Тепловые насосы. 2014. №5(20). С. 52–55.
9. Васильев Г.П., Песков Н.В., Личман В.А., Горнов В.Ф., Колесова М.В. Моделирование теплового режима термосквэжин геотермальных теплонасосных систем теплоснабжения. Ч. 1. Учет замерзания поровой влаги в грунте // Теплоэнергетика. 2015. №8. С. 11–16.
10. Корниенко С.В. Повышение энергоэффективности зданий за счет снижения теплотеря через краевые зоны ограждающих конструкций // Academia. Архитектура и строительство. 2010. №3. С. 348–351.
11. Горшков А.С., Ракова К.М., Мусорина Т.А., Цейтин Д.Н., Агишев К.Н. Проект здания с низким потреблением тепловой энергии на отопление // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. №4(31). С. 232–247.
12. Безродный М.К., Притула Н.А. Эффективность теплонасосных систем отопления с использованием теплоты предварительно подогретого атмосферного воздуха // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2013. №8(65). С. 24–28.
13. Калинин М.И., Шахназаров С.Г. Оптимизация технологических и регионально-геологических решений при разработке и внедрении в России инновационных

References

1. Shabanov V. Koltsevyye teplonasosnyye sistemy [Annular heat pump systems]. *Teplovyye nasosy*. 2013. No. 6(15). Pp. 28–34. (rus)
 2. Ibrahim O., Fardoun F., Younes R, Louahlia-Gualous H. Review of water-heating systems: General selection approach based on energy and environmental aspects. *Building and Environment*. 2014. Vol. 72. Pp. 259–286.
 3. Mazurenko A.C, Klimchuk A.A, Yurkovskiy S.Yu, Omeko R.V. Razrabotka skhemy kombinirovannoy sistemy teplosnabzheniya s ispolzovaniyem sezonnogo akkumulirovaniya tepla ot geliosistem [Development of the scheme combined heat supply system using seasonal storage of heat from solar systems]. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2015. No. 8(73). Pp. 17–20. (rus)
 4. Averyanova O.V. Klimaticheskiye sistemy s teplovymi nasosami i vodyanym konturom [Climate systems with heat pumps and water circuit]. *Magazine of Civil Engineering*. 2009. No. 2. Pp. 19–22. (rus)
 5. Fong K., Chow T., Hanby V. Development of Optimal Design of Solar Water Heating System by Using Evolutionary Algorithm. *Journal of Solar Energy Engineering*. 2006. Vol.129. No. 4. Pp. 499–501.
 6. Mazurenko A.C, Klimchuk A.A, Shramenko A.N., Sycheva Ye.A. Sravnitelnyy analiz sistem detsentralizovannogo teplosnabzheniya zhilykh domov s ispolzovaniyem elektroenergii [Comparative analysis of decentralized heating of houses with electricity]. *Eastern-European Journal of enterprise Technologies*. 2014. No. 8(71). Pp. 21–25. (rus)
 7. Strizhak P.A., Morozov M.N. Energoeffektivnost sistemy teplosnabzheniya zdaniy pri razlichnykh metodakh regulirovaniya teplopotrebleniya [Energy efficiency of heating buildings with different methods of heat consumption control]. *St. Petersburg State Polytechnical University Journal*. 2014. No. 3(202). Pp. 88–96. (rus)
 8. Buso T., Kornati S.P., Kurmitski Ya. Otel s pochti nulevym potrebleniyem energii [Hotel with almost zero energy consumption]. *Teplovyye nasosy*. 2014. No. 5(20). Pp. 52–55. (rus)
 9. Vasilyev G.P., Peskov N.V., Lichman V.A., Gornov V.F., Kolesova M.V. Modelirovaniye teplovogo rezhima termoskvazhin geotermalnykh teplonasosnykh sistem teplosnabzheniya. Ch. 1. Uchet zamerzaniya porovoy vlagi v grunte [Modelling of the thermal regime of the geothermal heat pump termoskvazhin heating systems. Part 1. Consideration of freezing in the soil pore water]. *Thermal Engineering*. 2015. No. 8. Pp. 11–16. (rus)
 10. Korniyenko S.V. Povysheniye energoeffektivnosti zdaniy za schet snizheniya teplopoter cherez krayevyye zony ograzhdayushchikh konstruktсий [Improving the energy efficiency of buildings by reducing heat loss through the boundary zone walling]. *Academia. Arkhitektura i stroitelstvo*. 2010. No.3. Pp. 348–351. (rus)
 11. Gorshkov A.S., Rakova K.M., Musorina T.A., Tseytin D.N., Agishev K.N. Proyekt zdaniya s nizkim potrebleniyem
- Basok B.I., Bozhko I.K., Nedbaylo A.N., Lysenko O.N. A polyvalent heating system for a passive house based on renewable energy sources

- технологий на возобновляемых энергоресурсах // Тепловые насосы. 2011. №1 (1). С. 12–22.
14. Батухтин А.Г., Кобылкин М.В. Тепловые насосы в российских системах отопления. Проблемы и перспективные решения [Электронный ресурс] // Электронный научно-практический журнал «NAUKA-RASTUDENT.RU». 2014. №11. URL: <http://nauka-rastudent.ru/11/2176/> (Дата обращения 13.10.2015).
 15. Стефанюк В.В. Интеллектуальная система поддержки функционирования теплонасосного энергоснабжения // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2010. №10 (45). С. 33–35.
 16. Ozgener L., Hepbasli A., Dincer I. Energy and exergy analysis of geothermal district heating systems: an application // *Building and Environment*. 2005. Vol. 40. Pp. 1309–1322.
 17. Суходуб И.О., Дешко В.И. Эксергетический анализ систем вентиляции с утилизацией полной теплоты // Инженерно-строительный журнал. 2014. №2. С. 36–46.
 18. Trinkl C., Zörner W., Hanby V. Simulation study on a Domestic Solar/Heat Pump Heating System Incorporating Latent and Stratified Thermal Storage // *Journal of Solar Energy Engineering*. 2009. Vol.131. № 4. Pp. 0410081–0410088.
 19. Корниенко С.В. Расчетно-экспериментальный контроль энергосбережения зданий // Инженерно-строительный журнал. 2013. №8. С. 24–30.
 20. Фиалко Н.М., Шеренковский Ю.В., Прокопов В.Г., Меранова Н.О., Гнедой Н.В., Иваненко Г.В., Юрчук В.Л., Гнедаш Г.А. Энергетическая эффективность комбинированных систем традиционного и электрического отопления зданий // *Промышленная теплотехника*. 2011. №5. Т. 33. С. 35–39.
 21. Robinson B., Albanese M., Chmielewski N., Brehob E., Sharp K. Heat Pipe Augmented Solar Heating System // *Proceedings of ASME 2010 4th International Conference on Energy Sustainability*. 2010. Vol.2. Pp. 195–199.
 22. Трофименко А.В., Дубов М.Ю., Лапко Д.П., Назаренко М.А., Подлепим В.Ю., Безнощенко Д. В. Результаты эксплуатации солнечных коллекторов в системе теплоснабжения дома // *Промышленная теплотехника*. 2011. №5. Т. 33. С. 54–60.
 23. Chiasson A., Spittler J., Rees S., Smith M. A Model for Simulating the Performance of a Pavement Heating System as a Supplemental Heat Rejecter With Closed-Loop Ground-Source Heat Pump Systems // *Journal of Solar Energy Engineering* 2000. Vol. 122. №4. Pp. 183–191.
 24. Недбайло А.Н., Ляшенко Н.Е. Использование солнечного коллектора для отопления помещения // *Промышленная теплотехника*. 2010. №4. Т. 35. С. 66–70.
 25. Недбайло А.Н., Ляшенко Н.Е., Рутенко А.А. Анализ экономической эффективности работы комбинированной геологической аккумуляционной системы теплоснабжения // *Промышленная теплотехника*. 2011. №3. Т. 37. С. 62–68.
 26. Басок Б.И., Коба А.Р., Недбайло А.Н., Беляева Т.Г., Тесля А.И., Хибина М.А., Ткаченко М.В., Лунина А.О. Создание грунтовых водо-водяных теплообменников для теплонасосных технологий теплоснабжения // *Наука и инновации*. 2012. №1. Т. 8. С. 67–76.
 27. Басок Б.И., Недбайло А.Н., Новицкая М.П., Ткаченко М.В. Моделирование теплового состояния помещения с системой водяного половой отопления // *Промышленная теплотехника*. 2012. №7. Т. 34. С. 65–73.
 28. Small D. Technical Considerations in a Zero Energy Home // *Proceedings of ASME 2008 2nd International Conference on Energy Sustainability*. 2008. Vol. 2. Pp. 287–295.
 29. Долинский А.А. Басок Б.И., Недбайло А.Н., Беляева Т.Г., Хибина М.А., Ткаченко М.В., Новицкая М.П. Концептуальные основы создания экспериментального тепловы энергия на отопление [The building project with low consumption of heat energy for heating]. *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2015. No. 4(31). Pp. 232–247. (rus)
 12. Bezrodnyy M.K., Pritula N.A. Effektivnost teplonasosnykh sistem otopeniya s ispolzovaniyem teploty predvaritelno podogretogo atmosfernogo vozdukhа [Efficiency of heat pump heating systems using heat preheated air]. *Eastern-European Journal of enterprise Technologies*. 2013. No. 8(65). Pp. 24–28. (rus)
 13. Kalinin M.I., Shakhnazarov S.G. Optimizatsiya tekhnologo-tekhnicheskikh i regionalno-geologicheskikh resheniy pri razrabotke i vnedrenii v Rossii innovatsionnykh tekhnologiy na vozobnovlyayemykh energoresursakh [Optimization of technological and technical and regional geological solutions for the development and implementation of innovative technologies in Russia for renewable energy]. *Teplovyye nasosy*. 2011. No. 1(1). Pp. 12–22. (rus)
 14. Batukhtin A.G., Kobylkin M.V. Teplovyye nasosy v rossiyskikh sistemakh otopeniya. Problemy i perspektivnyye resheniya [Heat pumps in Russian heating systems. Problems and future solutions]. *Elektronnyy nauchno-prakticheskiy zhurnal «NAUKA-RASTUDENT.RU»*. [Elektronnyy resurs]. 2014. No.11. URL: <http://nauka-rastudent.ru/11/2176/> (accessed: October 13 2015). (rus)
 15. Stefanyuk V.V. Intellektualnaya sistema podderzhki funktsionirovaniya teplonasosnogo energosnabzheniya [Intellectual functioning support system heat pump energy supply]. *Eastern-European Journal of enterprise Technologies*. 2010. No. 10(45). Pp. 33–35. (rus)
 16. Ozgener L., Hepbasli A., Dincer I. Energy and exergy analysis of geothermal district heating systems: an application. *Building and Environment*. 2005. Vol. 40. Pp. 1309–1322.
 17. Sukhodub I.O., Deshko V.I. Eksergeticheskiy analiz sistem ventilyatsii s utilizatsiyey polnoy teploty [Exergy analysis of ventilation systems with utilization of the total heat]. *Civil Engineering*. 2014. No. 2. Pp. 36–46. (rus)
 18. Trinkl C., Zörner W., Hanby V. Simulation study on a Domestic Solar/Heat Pump Heating System Incorporating Latent and Stratified Thermal Storage. *Journal of Solar Energy Engineering*. 2009. No. 4. Vol. 131. Pp. 0410081–0410088.
 19. Korniyenko S.V. Raschetno-eksperimentalnyy kontrol energosberezheniya zdaniy [Design and experimental control of energy saving buildings]. *Civil Engineering*. 2013. No.8. Pp. 24–30. (rus)
 20. Fialko H.M., Sherenkovskiy Yu.V., Prokopov V.G., Meranova N.O., Gnedoy N.V., Ivanenko G.V., Yurchuk V.L., Gnedash G.A. Energeticheskaya effektivnost kombinirovannykh sistem traditsionnogo i elektricheskogo otopeniya zdaniy [The energy efficiency of the combined systems of traditional and electric heating of buildings]. *Industrial heat engineering*. 2011. Vol. 33. No. 5. Pp. 35–39. (rus)
 21. Robinson B., Albanese M., Chmielewski N., Brehob G., Sharp M. Heat Pipe Augmented Solar Heating System. *Proceedings of ASME 2010 4th International Conference on Energy Sustainability*. 2010. Vol. 2. Pp. 195–199.
 22. Trofimenko A.V., Dubov M.Yu., Lapko D.P., Nazarenko M.A., Podlepip V.Yu., Beznoshchenko D.V. Rezultaty ekspluatatsii solnechnykh kollektorov v sisteme teplosnabzheniya doma [The results of exploitation of solar collectors in the heating system at home]. *Industrial heat engineering*. 2011. No. 5. Vol. 33. Pp. 54–60. (rus)
 23. Chiasson A., Spittler J., Rees S., Smith M. A Model for Simulating the Performance of a Pavement Heating System as a Supplemental Heat Rejecter With Closed-Loop Ground-Source Heat Pump Systems. *Journal of Solar Energy Engineering*. 2000. Vol. 122. No. 4. Pp. 183–191.
- Басок Б.И., Божко И.К., Недбайло А.Н., Лысенко О.Н. Поливалентная система теплообеспечения пассивного дома на основе возобновляемых источников энергии

- дома типа «ноль энергии» // Строительные конструкции: Межведомственный научно-технический сборник научных трудов (строительство) / Государственное предприятие «Государственный научно-исследовательский институт строительных конструкций» Министерства регионального развития, строительства и жилищно-коммунального хозяйства Украины. К: ГП НИИСК. 2013. Вып. 77. С. 222–227.
30. McLeod R., Hopfe C., Kwan A. An investigation into future performance and overheating risks in Passivhaus dwellings // *Building and Environment*. 2013. Vol. 70. Pp. 189–209.
 31. Tsirlin A. M., Andreev D.A., Mogutov V. A., Kazakov V. Optimal Thermostatting // *International Journal of Applied Thermodynamics*. 2003. Vol. 6. №2. Pp. 79–84.
 32. ДБН В.2.5.67-2013 Отопление, вентиляция и кондиционирование // Министерство регионального развития, строительства и жилищно-коммунального хозяйства Украины. К: Минрегион Украины. 2013.
 24. Nedbaylo A.N., Lyashenko N.E. Ispolzovaniye solnechnogo kollektora dlya otopleniya pomeshcheniya [Use of solar collector as heating rooms]. *Industrial heat engineering*. 2010. Vol. 35. No. 4. Pp. 66–70. (rus)
 25. Nedbaylo A.N., Lyashenko N.E., Rutenko A.A. Analiz ekonomicheskoy effektivnosti raboty kombinirovannoy geliogruntovoy akkumulyatsionnoy sistemy teplosnabzheniya [Cost-effectiveness analysis of the combined helio-soil accumulative heating system]. *Industrial heat engineering*. 2011. Vol. 37. No. 3. Pp. 62–68. (rus)
 26. Basok B.I., Koba A.R., Nedbaylo A.N., Belyayeva T.G., Teslya A.I., Khibina M.A., Tkachenko M.V., Lunina A.O. Sozdaniye gruntovykh vodo-vodyanykh teploobmennikov dlya teplonasosnykh tekhnologiy teplosnabzheniya [Creation of ground water-water heat exchangers for heat pump heating technology]. *The Science and Innovations*. 2012. Vol. 8. No. 1. Pp. 67–76. (rus)
 27. Basok B.I., Nedbaylo A.N., Novitskaya M.P., Tkachenko M.V. Modelirovaniye teplovogo sostoyaniya pomeshcheniya s sistemoy vodyanogo polovogo otopleniya [Modeling of the thermal state of the premises with the system of water underfloor heating]. *Industrial heat engineering*. 2012. Vol. 34. No. 7. Pp. 65–73. (rus)
 28. Small D. Technical Considerations in a Zero Energy Home. *Proceedings of ASME 2008 2nd International Conference on Energy Sustainability*. 2008. Vol. 2. Pp. 287–295.
 29. Dolinskiy A.A., Basok B.I., Nedbaylo A.N., Belyayeva T.G., Khibina M.A., Tkachenko M.V., Novitskaya M. Kontseptualnyye osnovy sozdaniya eksperimentalnogo doma tipa «nol energii» [The conceptual basis for the creation experimental house of the "zero energy"]. *Stroitelnyye konstruktzii: Mezhdovedstvennyy nauchno-tekhnicheskyy sbornik nauchnykh trudov (stroitelstvo): Gosudarstvennoye predpriyatiye «Gosudarstvennyy nauchno-issledovatel'skiy institut stroitelnykh konstruktсий» Ministerstva regionalnogo razvitiya, stroitelstva i zhilishchno-kommunalnogo khozyaystva Ukrainy*. Kiev: GP NIISK. 2013. Vol. 77. Pp. 222–227. (rus)
 30. McLeod R., Hopfe C., Kwan A. An investigation into future performance and overheating risks in Passivhaus dwellings. *Building and Environment*. 2013. Vol. 70. Pp. 189–209.
 31. Tsirlin A.M., Andreev D.A., Mogutov V.A., Kazakov V. Optimal Thermostatting // *International Journal of Thermodynamics*. 2003. Vol. 6. No. 2. Pp. 79–84.
 32. ДБН В.2.5.67-2013 Отопление, вентиляционная и кондиционирование [Heating, ventilation and air conditioning]. Министерство регионального развития, строительства и жилищно-коммунального хозяйства Украины. К: Минрегион Украины. 2013. (rus)

Борис Иванович Басок,
+380444569272; эл. почта: basok@itff.kiev.ua

Borys Basok,
+380444569272; basok@itff.kiev.ua

Игорь Константинович Божко,
+3(044)4242527; эл. почта: bozhkoik@gmail.com

Igor Bozhko,
+3(044)4242527; bozhkoik@gmail.com

Александр Николаевич Недбайло,
+3(044)4242527; эл. почта:
nan_sashulya@ukr.net

Alexander Nedbaylo,
+3(044)4242527; nan_sashulya@ukr.net

Оксана Николаевна Лысенко,
+3(044)4249644; эл. почта: lisenko_oks@ukr.net

Oksana Lysenko,
+3(044)4249644; lisenko_oks@ukr.net

© Басок Б.И., Божко И.К., Недбайло А.Н., Лысенко О.Н., 2015

Basok B.I., Bozhko I.K., Nedbaylo A.N., Lysenko O.N. A polyvalent heating system for a passive house based on renewable energy sources