

КОМПЛЕКСНОЕ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ НА ОСНОВЕ ИНТЕГРИРОВАННОГО ПОДХОДА К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ЗДАНИЙ И ИХ ВНУТРЕННИХ СИСТЕМ HVAC

Шкаровский А.Л.¹, Савиных Е.Н.²

¹ ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», Санкт-Петербург, Россия, (190005, г. Санкт-Петербург, ул. 2-я Красноармейская, 4), e-mail: szkarowski@mail.ru

² ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет», Санкт-Петербург, Россия, (195251, г. Санкт-Петербург, Политехническая, 29), e-mail: savinykh_lena@mail.ru

Рассмотрена методика комплексного подхода к проектированию интегрированных систем отопления и вентиляции и кондиционирования воздуха небольших зданий. Методика учитывает необходимость согласования всех этапов проектирования с целью снижения теплотерь и потребляемой тепловой мощности. Применение такого подхода продемонстрировано на примере проектирования индивидуального жилого дома. Концепция энергосбережения возводимого здания включает строительные и конструктивные решения, а также относящиеся к строительному производству, качеству и видам используемых материалов и инженерным системам. Система теплоснабжения коттеджа содержит решения в области источников теплоты, способов ее распределения и аккумуляции, вида теплообменных приборов в системах отопления и ГВС, систем регулирования подачи теплоты и вентиляции. Показаны достигнутые в эксплуатации результаты и экономический эффект применения методики. Выявлены проблемы и задачи, требующие дальнейшего совершенствования методики.

Ключевые слова: отопление и вентиляция, интегрированный подход, снижение теплотерь.

COMPLEX ENERGY SAVINGS BASED ON AN INTEGRATED APPROACH TO THE DESIGN OF BUILDINGS AND ITS INTERNAL SYSTEMS

Shkarovskiy A.L., Savinykh E.N.

Federal State Budgetary Institution of Higher Professional Education "Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering" (SPSAUCE), Saint Petersburg, Russia (190005, Saint Petersburg, 2nd Krasnoarmeiskaya Str., 4), szkarowski@mail.ru

The method of a complex approach to the design of integrated systems of heating, ventilation and air conditioning of small buildings was examined. The method takes into account the need to harmonize all phases of design to reduce heat loss and used heat power. The employment of such an approach was demonstrated by designing of an individual house. The concept of energy supply of a building under construction includes construction and structural decisions, relating to the construction industry, quality and types of used materials and engineering systems. The cottage system of heating provides solutions in the field of heat sources, methods of its distribution and accumulation, the type of heat exchangers for heating and hot water supply systems, the systems of regulation of heat and ventilation supply. There were shown results achieved in the process of operation and the economic benefits of using the technique. There were exposed problems and challenges requiring further improvement of techniques.

Keywords: heating and ventilation, an integrated approach to design, reducing heat loss.

Введение

Интегрированные системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха (далее ОВиКВ) широко используются в небольших коммерческих и общественных зданиях, а также в малоквартирном строительстве. Однако нередко эти системы, оборудованные по последнему слову техники, потребляют гораздо больше энергии, чем необходимо, и даже превышают проектные показатели энергопотребления.

Согласно результатам проведенного анализа и их сопоставления с данными других исследователей, это может быть вызвано слабой системной интеграцией. Проектировщики

различных конструкций и систем не учитывают или не имеют методики полной интеграции всех элементов здания с целью минимизации энергопотребления, а в условиях нашей страны нередко не имеют финансовых и рыночных стимулов для проведения полной интеграции. Выводы исследования были использованы для разработки рекомендаций по проектированию малых систем ОВиКВ HVAC, исходным положением которых является применение интегрированной системы проектирования, позволяющей уменьшить энергопотребление и стоимость зданий с малыми системами ОВиКВ HVAC на 25÷35%. Стратегия интегрированного проектирования основывается на том, что системы ОВиКВ HVAC не функционируют независимо, а являются частью взаимодействующей системы [1; 2]. Главными элементами стратегии является стратегия уменьшения тепловой нагрузки путем применения экономичного освещения, высококачественного остекления крыш с отражающей поверхностью, усиленной тепловой изоляции и т.п. Эти меры окупают себя за счет снижения необходимого размера мощности и стоимости оборудования ОВиКВ HVAC и эксплуатационных затрат.

Цель работы. Количество публикаций в области энергосберегающих решений для зданий различного назначения очень велико, включая работы авторов на эту тему [1; 3; 4]. Поэтому был необходим конкретный пример реализации такой концепции. Принимая во внимание развитие индивидуального жилищного строительства, объектом внедрения основных положений исследований был выбран коттедж на одну семью.

Строительство индивидуального коттеджа всегда является вызовом для инвестора. Сначала рождается архитектурный, строительный и инженерный образ дома. Первоначальная концепция учитывает возможности инфраструктуры, функциональные потребности объекта, тенденции в строительстве и инженерном обеспечении зданий и даже моду на оборудование и отделку. Это определяет инвестиционные затраты, которые впоследствии корректируются под влиянием двух групп факторов. Текущие факторы динамично связаны со складывающейся обстановкой по ходу реализации проекта. Факторы перспективные определяют многолетний уровень эксплуатационных затрат, исчисляющийся нередко десятилетиями.

Проектировщик-теплотехник, ориентируясь на экономические показатели, стремится к компромиссу между требованиями и возможностями проектировщиков-смежников, с одной стороны, и стремлением к техническому и технологическому оптимуму в своей области, с другой. На этапе проектирования, учитывая необратимость некоторых строительных процессов, принимаются важные решения по архитектурному облику объекта, технологии строительства, конструктивным решениям, определяющим внутреннее

устройство здания, прокладку инженерных систем, в том числе интересующих нас систем теплоснабжения дома.

Архитектурно-инженерные решения. Инвестор объекта, исходя из глобальных тенденций роста цен на энергоносители и стремясь к умеренным эксплуатационным затратам, поставил во главу угла концепцию энергосбережения возводимого здания, то есть:

- теряющего в окружающую среду, по возможности, минимум энергии;
- оборудованного современными теплотехническими системами, которые:
 - имеют высокую эффективность;
 - позволяют повторно использовать часть теряемой энергии;
 - обеспечивают использование энергии возобновляемых источников.

Сформулированные таким образом критерии определили задачи проектирования.

Строительные, относящиеся к конструкции, технологии строительного производства, качеству используемых материалов, видам отделки и изоляции – с целью снижения потерь теплоты здания.

Инженерные, предусматривающие проектирование такой системы теплоснабжения здания, которая покрывала бы потери теплоты, доставляя необходимую энергию для технологических процессов внутренних систем при минимуме собственных потерь.

Архитектурно-строительная концепция определена каталожным проектом. Это отдельно стоящий коттедж, с пристроенным гаражом, без подвала, одноэтажный, с развитой мансардно-чердачной частью. Общая площадь – 266,5 м², отапливаемая – 217 м². Высота помещений 2,70 м. Здание рассчитано на проживание 5–6 человек и построено в Польше, в пригороде агломерации Гдыня–Сопот–Гданьск (расчетная отопительная температура – 18 °С).

С целью снижения потерь теплоты даже фундамент здания изолирован гидрофобными плитами (80 мм снаружи и 30 мм – изнутри). Наружные стены из керамических блоков Porotherm толщиной 240 мм утеплены снаружи слоем минеральной ваты 150 мм и декоративно оштукатурены. Внутренняя отделка выполнена традиционной штукатуркой. Полы и все горизонтальные конструкции имеют гидро-, тепло- и акустическую изоляцию. Крыша покрыта керамической черепицей и утеплена минеральной ватой толщиной 250 мм, гидроизолирована и вентилируется по системе Rupp Ceramica.

Архитектурной особенностью здания являются большие окна в каждом помещении, нижний край которых граничит с поверхностью пола. Дом оборудован деревянными оконными и дверными переплетами с двойным остеклением. Печные трубы и вентканалы выполнены по технологии Schiedel.

Если строительная часть здания решена в соответствии с хорошо известными и проверенными стандартами, то **система его теплоснабжения**, как непосредственный объект данного исследования, изначально содержала несколько неконвенциональных решений. Сущность энергосберегающего теплотехнического комплекса объекта, включая и представленные выше общестроительные решения, опирается на:

1) соответствующим образом сформулированные проектные решения в области:

- источников теплоты;
- способов распределения и аккумуляции теплоты;
- вида теплообменных приборов в системах отопления и ГВС;
- системы регулирования подачи теплоты;
- системы внутренней вентиляции;

2) качественные параметры элементов системы теплоснабжения, учитывающие:

- специфику системы отопления, рассчитанной на температуру теплоносителя до 55 °С;
- применение отопительного контура с более высокой расчетной температурой до 70 °С;
- сочетание энергии альтернативных источников и основного источника теплоты;
- возможность питания системы теплоснабжения только от альтернативного источника;
- использование обратного потока теплоносителя при отсутствии теплопотребления.

Запроектированная так система теплоснабжения включает в себя следующие элементы:

- котельную, интегрированную с теплоцентром;
- комплекс внутренних теплопотребляющих систем;
- вентиляционно-рекуперативную систему;
- систему регулирования.

Котельная должна была отвечать ряду требований и исходя из этого технологически поделена на две части: систему выработки и аккумуляции теплоты и систему питания контуров отопления и ГВС.

Теплогенерирующий и аккумулирующий комплекс. Комплекс выработки и аккумуляции теплоты (рис. 1) представляет собой интегрированную систему источников теплоты 1 и 2 и аккумулятора 3. Задачей аккумулятора является поддержание соответствующего энергетического уровня системы с учетом ряда как постоянных, так и непрерывно меняющихся факторов: климатической зоны, сезона, времени суток, назначения помещений и потребностей проживающих. Для внутренних систем теплопотребления именно аккумулятор является источником теплоты: получая энергию от первичных источников, он должен подавать такое количество теплоты и с такими параметрами, чтобы

надежно обеспечивать непрерывность технологических процессов теплоснабжения с соблюдением необходимых показателей качества.

Задачей источников теплоты является выработка и доставка до аккумулятора ее среднего суточного количества, что позволяет им работать в режимах, обеспечивающих наиболее эффективное использование топлива и возобновляемой энергии. Во время минимального теплоснабжения происходит накопление энергии в аккумуляторе. Пиковое теплоснабжение покрывается суммой максимальной производительности источников и накопленной в аккумуляторе энергии. Такое решение позволило избежать завышения мощности основного источника. Путем рационального сочетания мощности котла и объема аккумулятора удалось достичь существенного снижения капиталовложений и постоянной части оплаты за газ.

Анализ теплового баланса объекта и технологических процессов теплоснабжения определил выбор основного **источника теплоты**. Исходя из расчетной мощности системы отопления 8 кВт (с учетом рекуперации теплоты) и среднего теплоснабжения ГВС 6 кВт был подобран газовый конденсационный котел 1 мощностью 18 кВт с модулированной горелкой.

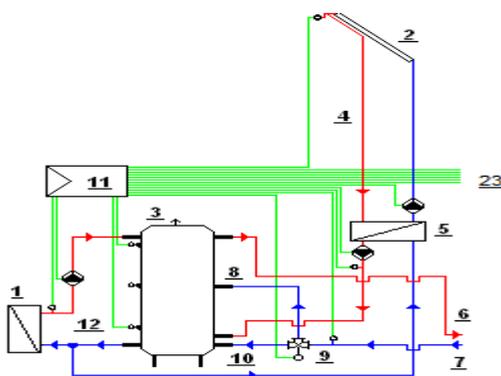


Рис. 1. Схема системы выработки и аккумуляции теплоты.

Альтернативным источником теплоты является батарея из пяти параболических вакуумных солнечных коллекторов 2, с эффективной поверхностью $8,95 \text{ м}^2$. Коллекторы смонтированы на стеллажах, вращающихся в горизонтальной и вертикальной плоскости. С учетом сложной конфигурации крыши принято решение расположить солнечный коллектор на грунте – на высоте 0,30 м от поверхности, фронтом на юг. Тепловой поток от коллекторов направляется в аккумулятор по трубопроводу 4 через разделительный пластинчатый теплообменник 5, конструктивно отделяющий контур солнечных коллекторов с незамерзающим теплоносителем от водяного контура системы теплоснабжения здания.

В качестве **аккумулятора теплоты** использована буферная слоевая емкость Logomat фирмы Meibes [4] объемом 500 литров, с расчетной мощностью 70 кВт. Это устройство делает возможной реализацию качественных характеристик системы: сочетание энергии солнечных коллекторов (источника с очень изменчивым энергетическим потенциалом) с энергией, вырабатываемой в главном источнике теплоты, стабильно действующим в наиболее эффективном режиме. Питание систем теплоснабжения осуществляется по трубопроводу 6.

Обратный поток теплоносителя 7 от внутренних систем, в зависимости от его температуры, может быть направлен регулятором 9:

- через патрубок 10 напролет через нижнюю часть аккумулятора и далее – по трубопроводу 12 непосредственно на подогрев в котле;
- через патрубок 8 в секцию послойного заполнения аккумулятора на его соответствующий температурный уровень.

Доля обратного потока теплоносителя, направляемая в объем аккумулятора, является важнейшим показателем эффективности всей системы. Например, при неработающем котле поток из «обратки» 7 просто вытесняет из аккумулятора накопленный там теплоноситель на питание внутренних систем. Работой системы управляет микропроцессорный регулятор 11, получающий информацию от комплекса температурных датчиков.

Внутренние системы теплоснабжения. Система распределения теплоты получает из аккумулятора поток теплоносителя 6 с определенным энергетическим потенциалом. Технологический процесс внутренних систем, крайне неоднородных с количественной и качественной точки зрения, требовал разработки соответствующего решения.

На трехконтурном теплоизолированном коллекторе размещены три насосные группы с электрическими модулями управления. В насосной группе, обслуживающей низкотемпературную систему отопления, температуру теплоносителя, определяемую требованиями теплового комфорта, ограничивает узел подмешивания с исполнительным механизмом, сопряженным с системой регулирования. В двух остальных контурах такой необходимости нет.

С учетом характеристик насосов (входящего в комплект котла и подобранных для системы распределения теплоты) насосный комплекс не удалось запроектировать с соблюдением оптимального принципа так, чтобы подача насоса, питающего бак-аккумулятор, составляла 110÷150% суммарной производительности насосов системы теплораспределения [1]. Поэтому к теплоносителю, питающему коллектор, подмешивается часть обратного теплоносителя из систем теплоснабжения. При этом слоевой аккумулятор успешно выполняет функцию гидравлического разделителя. Результатом этого компромисса

является временное снижение температуры теплоносителя при пиковом теплоснабжении в пользу повышения температуры питания аккумулятора. Предполагалось, что кратковременное снижение температуры теплоносителя в системе отопления не приведет к существенному снижению качества подачи теплоты, что и было впоследствии подтверждено наблюдениями.

Основными технологическими процессами теплоснабжения рассматриваемого объекта являются подогрев горячей воды и отопление (рис. 2). Система ГВС предусматривает, что водопроводная вода 27 подогревается в емкостном теплообменнике 24 объемом 150 л, оборудованном дополнительным электронагревателем. Система датчиков и термостатов, соединенная с регулятором 11 линиями 23, реализует нагрев в соответствии с нуждами потребителей (в программу заложены профилактические перегревы). Циркуляцию горячей воды в контуре 26 обеспечивает насос 25, управляемый индивидуальным регулятором температуры.

Отопление решено инновационным способом. Низкотемпературная часть системы отопления коттеджа 19 включает в себя 15 греющих контуров, находящихся в стенах, и 9 – в полах. Питание отдельных контуров осуществляется через коллекторы, размещенные под штукатуркой, а регулирование – при помощи позонных регуляторов 20.

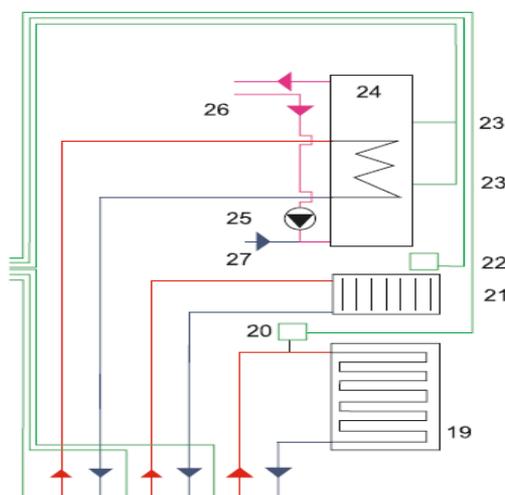


Рис. 2. Система теплоснабжения.

Теплыми полами оборудованы ванные комнаты, сауна и кухня. Под большими окнами, достигающими поверхности пола, на всю ширину окна уложена греющая полоса шириной 70 см, покрытая керамическими плитками. Эта полоса выполняет функцию тепловой завесы, успешно предохраняющей от влияния больших холодных поверхностей остекления.

Оригинальным решением является система стенового отопления, состоящая из модулей, прикрепляемых к конструкции стены, а затем покрытых штукатуркой. Идея этого решения опирается на следующие положения:

- отсутствие нагревательных приборов и устранение эффекта местного нагрева стен;
- улучшение теплового комфорта, создание здорового микроклимата в помещениях;
- экономия энергии, благодаря высокой доле лучистого теплообмена;
- оптимальное решение для конденсационного котла, благодаря пониженной температуре питания ($45\div 55$ °С);
- возможность использования системы для охлаждения в летнее время.

Соответствующим образом подобранные по мощности и габаритам греющие модули, соединенные по системе Тихельмана, в первую очередь были размещены в простенках между окнами, а остальная их часть – на внутренних стенах.

Высокотемпературная часть системы 21 состоит из полотенцесушителей ванных комнат, дополненных электронагревателями. Этот же контур питает отопительные приборы гаража и подвала. Все приборы оборудованы вентилями с термостатическими головками 22. Задача регулирования температуры решена путем установки в каждом отапливаемом помещении недельного комнатного программатора, управляющего позонными регуляторами 20 нагревательных контуров в стенах и полах данного помещения.

Вентиляционно-рекуперативная система. Важным элементом энергосберегающей концепции системы теплоснабжения является оптимальное решение вентиляции помещений. Кроме отключаемой системы естественной вентиляции, применена механическая рекуперация теплоты вытяжного воздуха. Точки притока свежего подогретого воздуха находятся в помещениях длительного пребывания: в салоне, спальнях, личных комнатах. Точки вытяжки использованного теплого воздуха размещены на кухне (независимо от вытяжки над плитой) и некоторых других помещениях. Анемостаты размещены в потолочных конструкциях.

Спиральный рекуператор вместе с вентиляторами, коллектором и системой регулирующих заслонок смонтирован на чердаке. Приточная шахта проходит в одной из торцевых стен, а в качестве вытяжной шахты использован свободный вертикальный вентканал. Независимую систему вентиляции имеют гараж, кладовка и часть мансардных помещений. С целью обеспечения общего воздухообмена между помещениями здания между полотном дверей и полом оставлены щели высотой 7 мм.

В соответствии с предназначением и параметрами вентиляционно-рекуперативной системы были подобраны следующие ее элементы:

- рекуператор со спиральным теплообменником производительностью $425\div 678$ м³/ч;

- один приточный и один вытяжной вентилятор;
- регулятор числа оборотов электродвигателей вентиляторов;
- гибкие изолированные трубопроводы в соответствии с проектом;
- поворотные-отклоняемые заслонки по количеству приточных каналов;
- анемостаты приточные и вытяжные в количестве, определяемом проектом.

Система автоматического регулирования. Управление всей системой теплоснабжения объекта разработано исходя из простоты его эксплуатации, подтвержденной практикой. В качестве элементов управления применены широко доступные микропроцессорные регуляторы температуры и программируемые по времени контроллеры.

Управление системой выработки и аккумуляции теплоты опирается на штатную систему автоматики котла, которая регулирует температуру теплоносителя и управляет подогревом воды для ГВС. С этой главной системой успешно взаимодействуют микропроцессорные регуляторы температуры.

Автоматика системы питания контуров теплопотребления является комбинированной. Подогрев воды в водонагревателе ГВС управляется установленным на нем термостатом и программируемым контроллером. Контур циркуляции горячей воды оборудован пороговым регулятором температуры и программируемым контроллером. Контур отопления с нагревательными приборами получает теплоноситель непосредственно из аккумулятора теплоты и управляется программируемым контроллером. Распределение теплоты между отдельными помещениями регулируется установленными на приборах вентилями с термостатическими головками. Контур стенового отопления и теплые полы, с учетом технологического ограничения температуры до 55 °С, оборудованы насосной группой с узлом подмешивания, которым управляет регулятор температуры.

Автоматика вентиляционно-рекуперативной системы предусматривает оборудование системы использования вторичной теплоты вытяжного воздуха штатным регулятором числа оборотов, управляющим производительностью вытяжного и приточного вентиляторов. Кроме того, предусмотрен программируемый регулятор температуры с целью дополнительной оптимизации процесса вентилирования объекта.

Экономические эффекты. При расчете экономических показателей эксплуатации объекта, и прежде всего **показателя удельного годового расхода теплоты на 1 м² общей площади здания**, были приняты следующие исходные данные [5]:

- потребление природного газа за расчетный период с 01.05.2008 до 30.04.2009: 2184 м³;
- общая площадь здания: 266,5 м²;
- теплота сгорания газа: 34,43 ГДж/м³ (9,57 кВт-ч/м³);
- среднее число проживающих: 5 чел.

Полученное значение вышеназванного показателя составило 0,2822 ГДж/(м²·год) или 78,38 кВт·ч/(м²·год).

Интерпретация результатов. В Польше нормируется удельный расход теплоты за отопительный сезон (только на отопление!): 29,0 кВт·ч/(м³·год), т.е. около 80 кВт·ч/(м²·год), в многоквартирном строительстве, и 37,4 кВт·ч/(м³·год), т.е. примерно 100 кВт·ч/(м²·год), в строительстве коттеджного типа. Сравнивая полученные результаты с этими данными, можно признать их хорошими. Необходимо принять во внимание, что они включают в себя расход теплоты на ГВС и что это был первый год эксплуатации здания, когда еще не полностью были использованы резервы и возможности систем регулирования и автоматики [4].

Стандарт использованных материалов, качество строительных работ и отделки всегда подвержены сильному влиянию привлеченного капитала. Аналогично выглядит подбор нагревательных приборов, существенно влияющих на эффективность системы теплоснабжения. Чаще всего в этом выборе преобладают сиюминутные факторы. Действительный экономический эффект определяет многолетнее снижение эксплуатационных расходов. Это тем более существенно, если учесть непрерывный рост цен на энергоносители и дисконтирование капиталовложений.

Основные выводы. Общая энергосберегающая концепция, заложенная в проект и реализованная на рассмотренном объекте, оказалась жизнеспособной. Все системы и их элементы были успешно запущены и действовали эффективно и надежно в эксплуатации [6].

Следующие строительные и технологические решения безусловно **оправдали себя**:

- тепловые завесы в виде полос теплого пола под окнами и остекленными дверями;
- стеновое отопление, которое, кроме экономии энергии, создает здоровый микроклимат в помещениях и комфортное ощущение лучистого тепла;
- применение в каждом жилом помещении индивидуальных регуляторов температуры;
- система рекуперации, которая, помимо экономии энергии, позволяет в летнее время доставлять прохладный свежий воздух через находящуюся в тени приточную шахту;
- применение программируемых контроллеров, повышающее экономичность системы, благодаря возможности регулирования времени работы систем (пропусками);
- набор функций слоевого бака-аккумулятора теплоты, включая:
 - оптимальное сочетание энергии, полученной от альтернативного источника (солнечный коллектор) с энергией основного источника теплоты;
 - питание системы ГВС и контуров отопления преимущественно энергией, полученной в альтернативном источнике, дающее заметный эффект в переходном периоде года (апрель–май и октябрь–ноябрь);

- использование теплоты обратного потока теплоносителя при отсутствии теплопотребления благодаря трехпоточному термостатическому регулятору.

Не оправдалось применение коллекторов поверхностного отопления, находящихся под поверхностью штукатурки. Такое решение затруднило наладку системы, состоящей из 24 греющих контуров (15 стеновых и 9 в полах). Поэтому уже во время наладки система была дополнена комплексом расходомеров, используемых впоследствии при контрольных тестах.

Дальнейшей детальной доработки требует следующий ряд эксплуатационных задач:

- оптимальное время работы системы отопления при регулировании пропусками. Аккумуляция большого количества теплоты в ограждающих конструкциях может приводить к перегреву помещений и трудностям с использованием избыточной теплоты;
- измерение расхода топлива и теплоты с целью более подробного анализа полученных эффектов и дальнейших выводов;
- технология использования системы стенового отопления и теплых полов для охлаждения помещений в теплое время года.

Список литературы

1. Шкаровский А.Л. Энергоэффективные принципы теплоснабжения в современном жилищном строительстве // Газ-Информ. – 2004. – № 3. – С. 22-29.
2. Шкаровский А.Л., Наскрент Л. Многофункциональные баки-аккумуляторы «Логомат»: рациональные решения при интегрированном теплоснабжении здания // Инженерные системы. – 2004. – № 4 (16). – С. 10-16.
3. Шкаровский А.Л., Наскрент Л. Комплексный энергосберегающий проект коттеджа // Инженерные системы. – 2010. – Сентябрь. – С. 26-31.
4. Szkarowski A., Naskręt L. Udoskonalone sposoby rozdziału ciepła. Układ zrównoważony // Magazyn Instalatora. – 2009. – № 1. – S. 22-23.
5. Szkarowski A., Naskręt L. Improved Methods of Accumulation and Distribution of Heat in the Heating Systems // The Environment Protection. Annual set. – 2009. – Vol. 11. – Koszalin. – Poland. – P. 555-570.
6. Vavra Bob. Integrated design produces big savings for small HVAC // Plant engineering. – 2005. – July 1. – P. 29-30.

Рецензенты

Воликов А.Н., д.т.н., профессор, член-корр. МАНЭБ, зав. кафедрой теплогазоснабжения и охраны воздушного бассейна Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета, г. Санкт-Петербург.

Юрматов Б.Н., д.т.н., профессор кафедры отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета, г. Санкт-Петербург.