

Методы определения индивидуального потребления тепловой энергии, реализованные на базе интеллектуальной системы контроля энергоресурсов

Ю. И. ШТЕРН*, Я. С. КОЖЕВНИКОВ*, В. А. МЕДВЕДЕВ**, Р. Е. МИРОНОВ*, И. С. КАРАБАЕВ*

* Национальный исследовательский университет «МИЭТ», Москва, Россия, e-mail: r.e.mironov@gmail.com

** ФБУ «РОСТЕСТ-МОСКВА», Москва, Россия, e-mail: hptt@miee.ru

Предложены методы и оригинальные аппаратно-программные средства учета индивидуального потребления тепловой энергии, реализованные на базе интеллектуальной системы контроля энергоресурсов.

Ключевые слова: система контроля энергоресурсов, индивидуальный учет тепла, аппаратно-программные средства, беспроводный измеритель температуры.

The procedures and original hardware and software for individual heat energy consumption accounting based intellectual system of power supply control are suggested.

Key words: power supply control system, individual heat accounting, hardware and software, wireless temperature measuring instrument.

Анализируя методы и средства измерений расхода энергоресурсов необходимо отметить, что наиболее сложной и неоднозначно решенной задачей является учет индивидуального потребления тепловой энергии. Особенно актуальное решение этой проблемы в жилищно-коммунальном хозяйстве [1 — 3].

Существует ряд технических решений теплосчетчиков, предназначенных для индивидуального учета расхода тепловой энергии в зданиях и сооружениях. За рубежом применяют электронные приборы, позволяющие по результатам измерения и интегрирования температурного напора между поверхностью отопительного прибора (теплообменника) и воздухом в помещении, учитывая конструкцию теплообменника и профиль распределения температуры на его поверхности, определять долю тепловой энергии, рассеиваемой данным отопительным прибором [1, 3]. Тепловая энергия, затраченная на отопление жилого дома, распределяется между индивидуальными потребителями пропорционально показаниям этих электронных приборов, называемых пропорционаторами или распределителями тепла.

При двухтрубной горизонтальной схеме построения системы отопления можно использовать так называемые квартирные теплосчетчики. Погрешность определения потребленной тепловой энергии значительно возрастает при малой разности температур ΔT теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах, которая должна быть не менее 3—5 °С. Такое значение ΔT достигается, в лучшем случае, в многокомнатных квартирах (три и более комнат). Необходимо отметить, что количество квартир с двухтрубной горизонтальной разводкой в России ничтожно мало.

Для определения потребляемой энергии при помощи пропорционаторов необходимо, чтобы они были установле-

ны на каждом теплообменнике в квартире. Технология установки строго регламентирована для каждого типа и конструкции теплообменников в зависимости от их мощности. Программное обеспечение методик расчета теплоты корректируется для каждого типа этих приборов. При использовании пропорционаторов на основании интегрированного по времени температурного напора проводится расчет не абсолютного, а относительного значения тепловой энергии, потребленной индивидуальным пользователем. В настоящее время это пока доминирующий способ оценки индивидуального потребления тепла в многоквартирных домах, который активно готовится для внедрения в нашей стране.

К недостаткам этого метода необходимо отнести достаточно высокую погрешность распределения тепловой энергии между индивидуальными потребителями, которая определяется рядом конструктивных, технологических и методических факторов. Для реализации указанной системы необходимо, чтобы пропорционаторы были установлены более чем в 75 % помещений [3]. Исходными данными при расчете в этом случае являются показания домового теплосчетчика, без которых невозможно применение данного метода. Показания пропорционатора снимают непосредственно при посещении квартир [3]. Однако в современных системах учета энергоресурсов для передачи данных используют беспроводные технологии. Важно отметить, что системы учета тепловой энергии, построенные на основе пропорционаторов, исключают возможность определения ее общедомовых затрат.

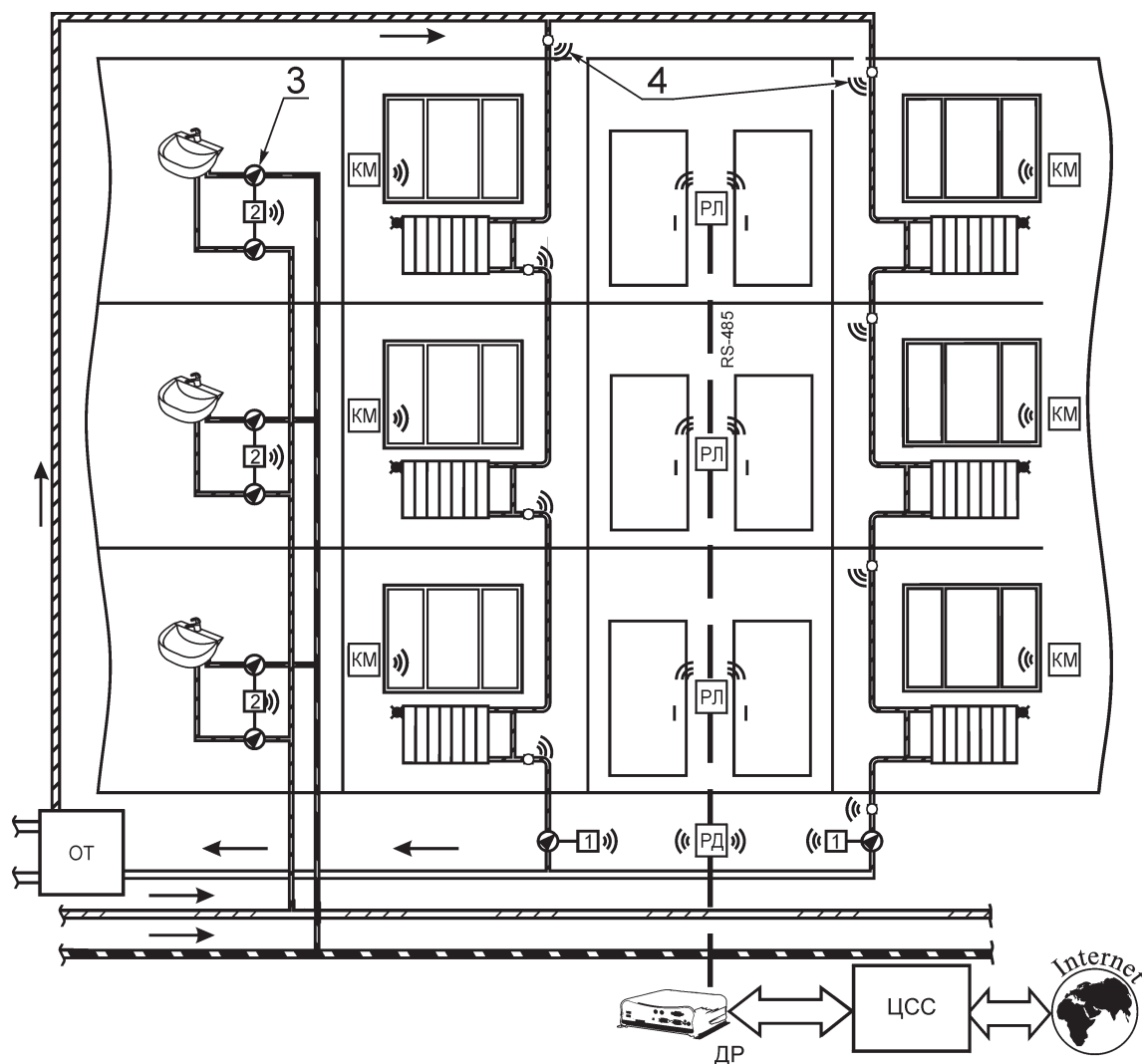
В данной работе предложена новая запатентованная концепция определения индивидуального потребления тепловой энергии [4, 5], реализованная в интеллектуальных системах контроля и учета индивидуального потребления

энергоресурсов (далее — Система) [2] и основанная на применении высокоточного беспроводного интеллектуального измерителя температуры ИТБ-1. Система также может служить для учета потребления горячей и холодной воды, а после модификации — еще и электрической энергии и газа.

Структурная схема Системы в многоквартирном доме представлена на рисунке. В качестве примера показана однотрубная система отопления. Рассматриваемая Система — это измерительная система типа ИС-2 по [6], организуемая по единому сетевому принципу и принимаемая в качестве функционально законченного изделия на конкретных объектах. Система напрямую измеряет потребленную тепловую энергию, выполняя прием и передачу данных по радиоканалу в полосе рабочих частот 434 или 868 МГц от оконечных устройств: беспроводных

температуры и счетчиков расхода теплоносителя, осуществляя вычисления и индикацию результатов измерений. Кроме того, в ней реализована техническая возможность измерения общедомовых затрат потребления тепловой энергии.

Для определения температуры теплоносителя в качестве термометров используют ИТБ-1. Расход теплоносителя в системе отопления измеряют расходомерами с импульсным выходом, подключенными к беспроводному счетчику импульсов СИ-1К. Термометры и расходомеры устанавливают на трубопроводах. Данные от оконечных устройств по радиоканалу передаются на локальные ретрансляторы (РЛ) и далее по проводному или беспроводному интерфейсу поступают на домовый ретранслятор (ДР), выполненный на базе промышленного компьютера с операционной системой Linux. Здесь показания обрабатываются, архивируются и передаются в центральный сервер Системы (ЦСС), где с помощью специального программного обеспечения (ПО) рассчитываются и отображаются значения потребленных



Структурная схема интеллектуальной системы контроля энергоресурсов:

1, 2 — беспроводные счетчики импульсов СИ-1К и СИ-2К, соответственно; 3 — расходомеры; 4 — беспроводные измерители температуры ИТБ-1; ОТ — общедомовой теплосчетчик; РЛ — локальные ретрансляторы; ДР — домовый ретранслятор; КМ — квартирные мониторы; ЦСС — центральный сервер Системы

энергоресурсов. Передача данных в ЦСС осуществляется одним из следующих способов: Wi-Fi, GSM, при помощи носителей информации с интерфейсом USB. При установлении ПО непосредственно в ДР он выполняет функции ЦСС. Результаты измерений потребленных энергоресурсов в определенных единицах сохраняются в базе данных ЦСС и доступны для просмотра на его мониторе, на дисплеях РЛ и квартирных мониторов (КМ), а также, с ограничениями, в сети Интернет.

Система построена по иерархическому принципу и имеет распределенную структуру. Такое построение позволяет проводить удаленный мониторинг данных и контроль функционирования элементов интеллектуальной системы управляющими организациями и обслуживающими структурами при помощи сети Интернет.

Основные характеристики элементов Системы. К беспроводным электронным устройствам Системы относятся оконечные устройства измерительные (ИТБ-1, СИ-1К) и ото-

бражения информации (КМ), а также связующие элементы (РЛ). С учетом последних достижений в науке и технике и общих тенденций в развитии интеллектуальных систем сформулированы следующие требования к беспроводным электронным устройствам:

совмещение в едином приборе электронных средств измерений (СИ) и беспроводных средств передачи данных (радиотрансивера);

высокая точность измерений параметров;

межповерочный интервал СИ не менее 5 лет;

использование автономного встроенного источника питания.

Беспроводный измеритель температуры предназначен для контроля температуры в диапазоне от 5 до 95 °С. Он состоит из электронного СИ температуры и приемника-передатчика. Определяющий параметр ИТБ-1 — низкая погрешность измерений (0,05 °С), достигаемая индивидуальной градуировкой на автоматизированном измерительном комплексе. В качестве датчика используется стабильный, обладающий высокой воспроизводимостью параметров, малоинерционный платиновый тонкопленочный термометр сопротивления Pt-RTD1000, включенный в мостовую схему. Разработанные ИТБ [7, 8] не имеют аналогов и предназначены для измерения температуры теплоносителя и горячей воды в жилищно-коммунальном хозяйстве, а также температуры жидких, газовых и сыпучих сред.

Счетчики импульсов СИ-1К с беспроводным интерфейсом измеряют число импульсов, поступающих от различных измерительных устройств, с относительной погрешностью 0,1 %. В структуре рассматриваемой Системы они являются измерительными элементами, также как и расходомеры жидкости, определяющие расход теплоносителя в системе отопления. Это беспроводный программно-управляемый микропроцессорный счетчик с ПО, реализующим алгоритм его работы, конфигурацию измерительных каналов и режимов измерений, сбор, хранение и обработку результатов. Питается от источника постоянного тока с номинальным напряжением 3,6 В. Модифицированный счетчик импульсов СИ-2К имеет два измерительных канала и совместно с водосчетчиком используется в рассматриваемой Системе для измерения расхода горячей и холодной воды в системах водоснабжения.

Комнатный монитор — беспроводное устройство с индикатором для отображения термодинамических параметров Системы и результатов расчета потребления энергоносителей. Данные на КМ поступают от РЛ по радиоканалу.

Локальный ретранслятор предназначен для сбора, хранения и передачи данных от оконечных устройств в ДР. К каждому РЛ по радиоканалу может быть подключено до 127 таких устройств. Протокол передачи данных, реализованный в РЛ, — *SimpliciTI*. Ретранслятор работает в режимах конфигурирования, параметризации, калибровки и мониторинга. Все команды управления компонентами Системы поступают в РЛ от ДР по каналу RS-485, а затем транслируются соответствующему оконечному устройству. Разработана модификация РЛ с жидкокристаллическим монитором для индикации измеренных параметров Системы и результатов потребления энергоресурсов.

Центральный сервер Системы — программный модуль, состоящий из базы данных и программных приложений, который может быть установлен как на ДР, так и на удаленном

компьютере с доступом в Интернет. Этот модуль предназначен для расчета и отображения параметров и управления Системой, хранения и передачи данных с применением различных в том числе беспроводных интерфейсов.

Все СИ, входящие в состав Системы, имеют сертификаты соответствия Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии.

Математические модели и алгоритмы расчета тепловой энергии. Конфигурация Системы определяется схемой построения систем отопления (одно- или двухтрубная) и их реализацией в конкретных зданиях и сооружениях. При расчетах тепловой энергии необходимо также учитывать направление подачи теплоносителя: снизу вверх или сверху вниз. Однако в целом, метод расчета незначительно зависит от указанных схем. Количество теплоты, оплачиваемое каждым абонентом, складывается из теплоты, измеренной и потребляемой его квартирой, и теплоты, приходящейся на каждого абонента (квартиру) из общедомовых расходов.

В случае однотрубной схемы отопления для определения теплоты, потребляемой квартирой, измеряются разности температур ΔT теплоносителя на подающем стояке, на входе и выходе из квартиры и расход теплоносителя в стояке. При подаче теплоносителя сверху вниз, выходной датчик верхней квартиры одновременно является входным датчиком нижней квартиры. В двухтрубной отопительной системе определяются разности ΔT теплоносителя на подающем и обратном трубопроводах квартиры и расход теплоносителя данной квартиры.

Приведем алгоритмы расчета потребления теплоты для однотрубной системы отопления. В качестве теплоносителя использована вода. Введем следующие обозначения: i, m — индексы квартирного и общедомового стояков; n, B — количество стояков в одной квартире и доме, используемых для отопления общедомовых помещений, соответственно; $j, j_{\min}, j_{\max}$ — индекс этажа (счет этажей снизу вверх), индексы нижнего и верхнего этажей; R, r — количество квартир в доме и их индекс; $\Delta t = t_2 - t_1$ — период измерений, где t_1, t_2 — время его начала и окончания; k, L — номер и количество периодов измерений за отчетный промежуток; w — «вес» импульса расходомера (счетчика); t_p — температура воды в стояке, измеренная термометром, ближайшим к расходомеру; Q_t — количество тепловой энергии, потребленной домом и измеренной общедомовым теплосчетчиком или Системой. Все последующие величины приведены к периоду измерений k : $t_{ijk \text{ под}}, t_{ijk \text{ об}}$ — температура воды в i -м стояке на j -м этаже, измеренная в подающем и обратном трубопроводах, соответственно; $\Delta t_{ijk} = t_{ijk \text{ под}} - t_{ijk \text{ об}}, \Delta h_{ijk} = h_{ijk \text{ под}} - h_{ijk \text{ об}}$ — разности температур и удельных энтальпий воды, приходящиеся на комнату, расположенную на j -м этаже (движение теплоносителя сверху вниз); I_k — количество импульсов расхода воды в системах отопления и водоснабжения; $t_{j_{\min} k}, t_{j_{\max} k}$ —

температура воды на нижнем и верхнем этажах; $\rho_{t_p k}$ — плотность воды в расходомере стояка отопления при температуре t_p , измеренной ближайшим к расходомеру ИТБ; $M_{ik} = I_k w \rho_{t_p k}$ — масса воды, прошедшей через поперечное сечение трубопровода стояка отопления.

Существуют два алгоритма измерения и расчета потребления тепловой энергии. В первом случае энергию, потребленную общедомовыми помещениями, измеряют при помощи Системы. Для этого в стояках на верхнем и нижнем эта-

жах устанавливают ИТБ, которые измеряют температуры $t_{j\max k}$, $t_{j\min k}$, и расходомер, определяющий объем прошедшего по стояку теплоносителя. По этим данным вычисляется тепловая энергия, отданная общедомовыми стояками. Таким же образом можно определить тепловую энергию, отданную любыми участками системы отопления, обслуживающими общедомовые помещения. Когда установка ИТБ на всех участках системы отопления невозможна и отсутствует штатный общедомовой теплосчетчик, ИТБ и расходомер устанавливают на подающем и обратном трубопроводах на входе в дом. Тогда потребленную домом тепловую энергию находят по стандартной схеме теплосчетчика.

Во втором случае тепловую энергию находят как разность между тепловой энергией, затраченной на отопление дома в целом, и тепловой энергией, потребленной всеми жилыми помещениями. Важно отметить, что общедомовые затраты распределяют между индивидуальными потребителями пропорционально затраченной ими энергии. Это является дополнительным стимулом к ее экономии.

Первый из приведенных алгоритмов расчета общедомовой тепловой энергии является более перспективным, так как позволяет контролировать ее расход на уровне этажа, подъезда и т. д.

Измерение потребленной тепловой энергии Q за отчетный период Δt_L на контролируемом участке системы отопления для всех модификаций схем ведется в соответствии с алгоритмом теплосчетчика [9], в котором численное интегрирование выполняется суммированием по периодам измерений:

$$Q = \sum_{k=1}^L V_k \rho_{\text{пк}} (h_{1k} - h_{2k}),$$

где $V_k = I_k w$ — объем воды за период измерений длительностью Δt (все периоды одинаковой длительности); h_{1k} , h_{2k} — удельные энтальпии воды соответственно в подающем и обратном трубопроводах контролируемого участка системы отопления (при условном давлении 1,6 МПа).

Длительность периода измерений 1 — 60 мин задается при конфигурировании системы. Во всех модификациях для расчета суммарного количества тепловой энергии, потребленной всеми абонентами стояка отопления, используют показания расходомера теплоносителя с присоединенным СИ-1К, установленным на трубопроводе, и двух ИТБ-1, размещенных на подающем и обратном контролируемых участках стояка. Связующими компонентами Системы служат РЛ, а вычислительным компонентом — ЦСС, в котором проводятся все вычисления и формируется база результатов измерений.

Рассмотрим метод определения тепловой энергии, потребленной одной квартирой за отчетный период. Количество тепловой энергии, потребленной квартирой от i -го стояка на j -м этаже в период измерений k находят по выражению

$$Q_{ijk} = M_{jk} (h_{ijk \text{ под}} - h_{ijk \text{ об}}).$$

При определении массы теплоносителя (воды) учитывают температурную зависимость плотности в килограммах на кубический метр при давлении 1,6 МПа согласно [10]:

$$\rho_{\text{тпк}} = 1001,35524 - 0,091435 t_{\text{пк}} - 0,00305 t_{\text{пк}}^2. \quad (1)$$

Удельная энтальпия воды (кДж/кг) в подающем и обратном трубопроводах контролируемого участка квартирного стояка на j -м этаже за период измерений будет

$$h_{ijk} = 4,18544 t_{ijk}. \quad (2)$$

Выражения (1), (2) соответствуют по точности аппроксимации таблицам [10] в диапазоне температур 5 — 95 °С.

Запишем выражения для количества теплоты за отчетный период, потребленной одной квартирой от i -го стояка на j -м этаже, и всех n стояков, установленных в квартире, а также потребленной всеми квартирами:

$$Q_{ijL} = \sum_{k=1}^L Q_{ijk}; \quad Q_{rL} = \sum_{i=1}^n Q_{ijL}; \quad Q_{RL} = \sum_{r=1}^R Q_{rL}.$$

Формулы для расчета количества теплоты, переданной стояком m , обслуживающим общедомовые помещения, в период измерений k и за весь отчетный период, соответственно:

$$Q_{mk} = M_m (h_{mj\max k} - h_{mj\min k}); \quad Q_{mL} = \sum_{k=1}^L Q_{mk}.$$

Измеренное количество теплоты, переданное всеми общедомовыми стояками за период L , найдем как

$$Q_{BL} = \sum_{m=1}^B Q_{mL}.$$

Существуют два алгоритма расчета потребления тепловой энергии. Рассмотрим первый алгоритм. Количество теплоты, переданной общедомовыми стояками и рассчитанное для одной квартиры за отчетный период, составляет:

$$Q_{rBL} = (Q_{BL} / Q_{RL}) Q_{rL}.$$

Таким образом, эта часть оплачиваемой тепловой энергии пропорциональна измеренной тепловой энергии, потребленной данным абонентом (квартирой). Общее количество теплоты, рассчитанное для одной квартиры и всех квартир за период L , определим как

$$Q_{r\text{общ}L} = Q_{rL} + Q_{rBL}; \quad Q_{R\text{общ}L} = \sum_{r=1}^R Q_{r\text{общ}L}.$$

По технологическим причинам часть тепловой энергии, расходуемой на отопление общедомовых помещений, или

ее потери не всегда могут быть измерены. Тогда эту дополнительную энергию можно вычислить для каждой квартиры по формуле:

$$\Delta Q_r = \left[(Q_T - Q_{R_{\text{общ}}L}) / Q_{R_{\text{общ}}L} \right] Q_{R_{\text{общ}}L}.$$

Итоговое количество потребленной тепловой энергии, рассчитанное на одну квартиру за отчетный период с учетом показаний теплосчетчика или с учетом теплоты, потребленной домом и измеренной при помощи Системы:

$$Q_{r_{\text{итог}}L} = Q_{R_{\text{общ}}L} + \Delta Q_r. \quad (3)$$

В отсутствие результатов измерений тепловой энергии, потребленной общедомовыми помещениями, применяют второй алгоритм. В этом случае количество теплоты, потребленной на общедомовые нужды, рассчитывают по показаниям общедомового теплосчетчика (ОТ) за отчетный период или по известным значениям тепловой энергии, потребленной домом и измеренной при помощи Системы:

$$Q_{L_{\text{ОТ}}} = Q_T - Q_{RL}.$$

Далее найдем тепловую энергию, потребленную на общедомовые нужды и рассчитанную для одной квартиры за весь период:

$$Q_{RL_{\text{ОТ}}} = (Q_{L_{\text{ОТ}}} / Q_{RL}) Q_{RL}.$$

В итоге (3) запишем как

$$Q'_{r_{\text{итог}}L} = Q_{RL} + Q_{RL_{\text{ОТ}}}.$$

Таким образом, рассмотренная интеллектуальная Система и реализованный в ней метод учета индивидуального потребления тепловой энергии позволяют проводить прямые измерения и определять энергию, потребленную одной квартирой за отопительный сезон, с погрешностью не более 6,5 % [11]. Результаты расчета в реальных единицах измерения отображаются на дисплеях локального ретранслятора и квартирного монитора. Поэтому потребителю легко оценить результаты экономии тепла, что стимулирует его к энергосбережению. Исключительная особенность данной интеллектуальной Системы состоит в том, что в ней реализована техническая возможность измерения общедомовых затрат потребления тепловой энергии.

В настоящее время во ВНИИМ проводится аттестация интеллектуальной системы контроля и методов учета расхода энергоресурсов. Разработаны типовые проекты многоквартирных домов с использованием Системы и готовится их внедрение.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ (государственный контракт № 16.516.11.6069).

Л и т е р а т у р а

1. **Медведев В. А.** Счетчики-распределители теплотребления. Метрологические аспекты // Мир измерений. 2004. № 5. С. 17—19.
2. **Штерн Ю. И. и др.** Интеллектуальная система учета индивидуального потребления тепла // Кибернетика и высокие технологии XXI века: Сборник докл. 12-й Междунар. науч.-техн. конф. Воронеж, 2011. Т. 2. С. 738—744.
3. **МДК 4-07.2004.** Методика распределения общедомового потребления тепловой энергии на отопление между индивидуальными потребителями на основе показаний квартирных приборов учета теплоты / ООО «Витерра Энергетический сервис», ЗАО «Данфосс». М.: ФГУП ЦПП, 2004.
4. **Пат. 2374566 РФ.** Система измерения и учета поквартирного потребляемого тепла в системах теплоснабжения / В. А. Беспалов и др. // Изобретения. Полезные модели. 2009. № 33.
5. **Пат. 2380620 РФ.** Система измерения и учета поквартирного потребляемого тепла в системах теплоснабжения для двухтрубной системы / В. А. Беспалов и др. // Изобретения. Полезные модели. 2010. № 3.
6. **ГОСТ Р 8.596—2002.** ГСИ. Метрологическое обеспечение измерительных систем. Основные положения.
7. **Пат. 2466365 РФ.** Накладной беспроводной измеритель температуры поверхности объекта / Я. С. Кожевников и др. // Изобретения. Полезные модели. 2012. № 31.
8. **Пат. 2450250 РФ.** Устройство для измерения температуры теплоносителя и беспроводной измеритель температуры / Я. С. Кожевников и др. // Изобретения. Полезные модели. 2012. № 13.
9. **ГОСТ Р ЕН 1434-1—2011.** Теплосчетчики. Ч. 1. Общие требования.
10. **ГСССД 187—99.** Принято МГС под номером 98—2000. Вода. Удельный объем и энтальпия при температурах 0 ... 1000 °С и давлениях 0,001 ... 1000 МПа.
11. **Штерн Ю. И. и др.** Погрешности измерения индивидуального потребления тепловой энергии с помощью методики, основанной на использовании интеллектуальных датчиков температуры // Кибернетика и высокие технологии XXI века: Сборник докл. 13-й Междунар. науч.-техн. конф. Воронеж, 2012. Т. 2. С. 550—558.

Дата принятия 11.09.2012 г.