

МЕТОДИКА И ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ АТТЕСТАЦИИ ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ И УЧЕТА ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ

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

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

Для исследований и метрологической аттестации электронных компонентов и интеллектуальной системы контроля и учета потребления энергоресурсов разработана методика и изготовлен измерительный аппаратно-программный комплекс, позволяющий аттестовывать методики и аппаратно-программные средства, используемые для индивидуального учета тепловой энергии, расхода холодной и горячей воды. Проведенные исследования и сравнительный анализ результатов измерений тепловой энергии показали, что максимальная разница данных не превышает 0,5 %.

Ключевые слова: интеллектуальная система контроля, тепловая энергия, индивидуальный учет энергоресурсов, метрологическая аттестация, аппаратно-программный комплекс.

Methodology is developed, and hardware and software measuring complex is fabricated for the investigation and metrological certification of electron components, and intellectual system for controlling and accounting of energy consumption (ISCE). This complex permits also certification of methodologies, and hardware and software used for the individual accounting of heat energy, cold and hot water consumption. Carried investigations and comparative analysis of the results of heat energy measurements by precise heat meter and ISCE showed that maximum data difference does not exceed 0,5 %.

Key words: intellectual controlling system, heat energy, individual accounting of energy resources, metrological certification, hardware and software complex.

В настоящее время контроль потребления энергоресурсов – одна из важнейших научно-технических задач, связанная с тем, что внедрение энергосберегающих технологий невозможно без объективного учета расхода энергоресурсов. Особенно это актуально для сферы индивидуального учета.

Была разработана и использована на объектах жилищно-коммунального хозяйства интеллектуальная система контроля и учета индивидуального потребления энергоресурсов (ИСКЭ), в которой особое внимание уделено контролю потребления тепловой энергии. Предложены инновационные методы учета индивидуального потребления тепла, основанные на использовании высокоточных беспроводных измерителей температуры [1 – 3].

В автоматическом режиме ИСКЭ обеспечивает непрерывный мониторинг термодинамических параметров, измеряемых беспроводными электронными оконечными устройствами, расчет и передачу измеренных параметров в базу данных для накопления и хранения, вывод результатов измерений и расчета на различные индикаторы; выдачу управляющих сигналов для устройств распределения энергоресурсов и средств безопасности, а также ведение базы данных учета потребления энергоресурсов. Система предназначена для индивидуального учета энергоресурсов в многоквартирных зданиях и передачи данных в единый информационно-расчетный центр и управляющую компанию в масштабах здания, квартала, муниципалитета, региона, что позволяет создать единую информационно-аналитическую сеть.

Рассматриваемая модификация ИСКЭ предназначена для учета потребления тепловой энергии, горячей и холодной воды, организована по единому сетевому принципу и принимается на конкретных объектах, как функционально законченное изделие. Она является измерительной системой, так как с помощью электронных оконечных устройств (беспроводных измерителей температуры, счетчиков расхода объема воды и теплоносителя, локальных ретрансляторов, квартирных мониторов), напрямую измеряет параметры энергоресурсов, выполняя прием–передачу данных в структуре ИСКЭ по радиоканалу на частотах 434 или 868 МГц, а также вычисления и индикацию результатов измерений.

В качестве термометров, используемых для определения температуры теплоносителя, применяют высокоточные беспроводные измерители температуры ИТБ-1, интегрированные в трубопровод, или ИТБ-1Н для поверхностного монтажа [1, 3]. Их абсолютная погрешность измерения не превышает 0,05 °С. Расходомеры горячей и холодной воды с импульсным выходом каналов измерений подключают к двухканальному беспроводному счетчику импульсов (СИБ-2К). Измерение расхода теплоносителя в системе отопления осуществляют с помощью расходомеров с импульсным выходом, подключенных к

одноканальному беспроводному счетчику импульсов (СИБ-1К). Термометры и расходомеры устанавливают на трубопроводах систем отопления и водоснабжения.

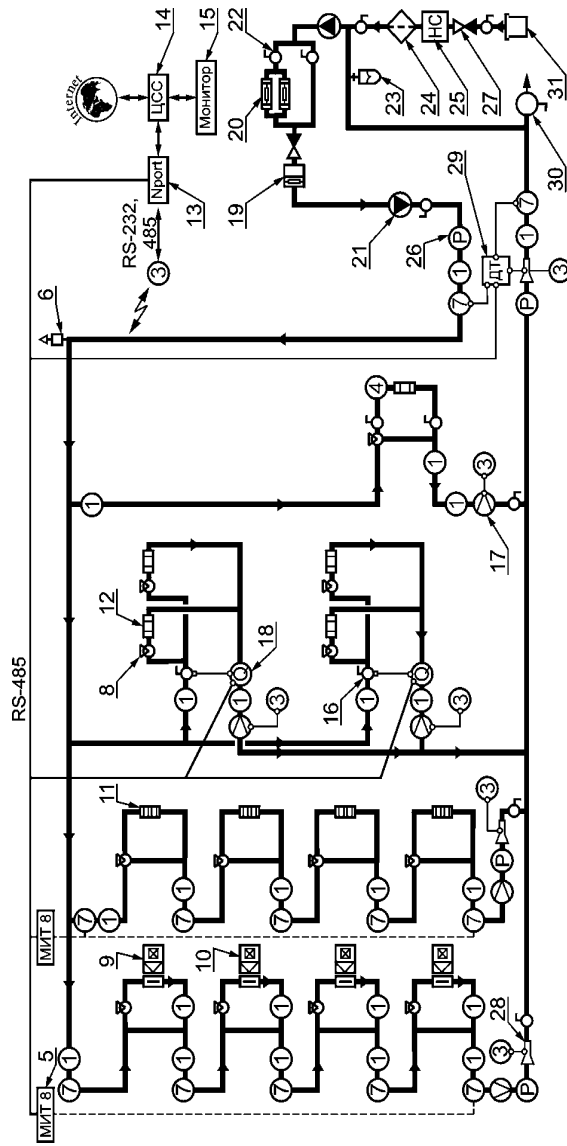
Измеренные данные от оконечных устройств по радиоканалу передают на локальные ретрансляторы (РЛ) и далее по проводному или беспроводному интерфейсу на ретранслятор домовой (РД), выполненный на базе промышленного компьютера. В РД данные обрабатывают, архивируют и передают в центральный сервер ИСКЭ (ЦСС), где с помощью специального программного обеспечения (ПО) рассчитывают и отображают значения потребленных энергоресурсов. Передача данных в ЦСС от РД осуществляется через Интернет, при установке ПО непосредственно в РД функции ЦСС выполняет домовый ретранслятор.

Результаты измерений потребленных энергоресурсов в узаконенных единицах сохраняются в базе данных ЦСС и доступны для просмотра на мониторе ЦСС, дисплеях РЛ и квартирных мониторах (КМ), установленных у индивидуальных потребителей.

Таким образом, ИСКЭ построена по иерархическому принципу и имеет четко распределенную структуру. Такое построение позволяет выполнять удаленный мониторинг данных и контролировать функционирование элементов интеллектуальной системы управляющими организациями через Интернет.

Для проведения исследований и метрологической аттестации в реальных условиях эксплуатации электронных компонентов (оконечных устройств), используемых в ИСКЭ, а также интеллектуальной системы в целом, разработана методика и изготовлен измерительный аппаратно-программный комплекс, позволяющий проводить исследования теплофизических процессов в системах отопления при регулируемом изменении внешних и внутренних параметров системы. Кроме того, в нем предусмотрена аттестация методик и аппаратно-программных средств, используемых для индивидуального учета тепловой энергии и расхода холодной и горячей воды. Изготовлены две модификации стенда, первая из которых предназначена для исследования интеллектуальной системы контроля и учета тепловой энергии, а вторая включает систему контроля и учета расхода холодной и горячей воды.

Рассмотрим реализацию методики аттестации системы индивидуального учета тепла. На рисунке представлена структурная схема



Структурная схема измерительного комплекса для исследования интеллектуальной системы контроля и учета тепловой энергии:

1, 4 – беспроводные измерители температуры и температурного напора; 2 – ретранслятор локальный; 3 – счетчик импульсов беспроводный; 5 – многоканальный измеритель температуры МИТ-8; 6 – воздухоотводчик; 7 – датчик температуры, эталон; 8 – терморегулятор; 9, 11, 12 – конвекторы обычный, медный и биметаллический; 10 – вентилятор; 13, 14 – асинхронный сервер интерфейсов RS-232/422/485 и центральный сервер системы; 15 – монитор; 16 – шаровый кран с датчиком температуры; 17, 28 – расходомеры обычный и ультразвуковой; 18, 29 – термодатчики обычный и домовый; 19, 21 – электрические нагреватели емкостной и проточной; 20 – насос циркуляционный; 22 – шаровый кран; 23, 31 – расширительный и открытый баки; 24 – фильтр; 25 – насосная станция; 26 – датчик давления; 27 – обратный клапан; 30 – ручной слив воды

измерительного комплекса, предназначенного для исследования интеллектуальной системы контроля и учета тепловой энергии и состоящего из стенда, имитирующего работу двух- и однотрубной систем отопления и аппаратно-программных средств, предназначенных для функционирования системы, контроля и расчета параметров теплоносителя.

В состав комплекса входят: контрольно-измерительные приборы, оборудование, регулирующее изменение внешних и внутренних параметров системы, вычислительные средства, элементы проводного и беспроводного интерфейсов и средства визуализации измеряемых и рассчитываемых параметров ИСКЭ. На стенде установлены два стояка, имитирующих работу однотрубной системы отопления. В первом стояке располагаются 4 медных конвектора мощностью 1045 Вт каждый, во втором – 4 стальных мощностью по 1000 Вт. Они установлены последовательно, относительно движения теплоносителя и имитируют систему отопления в четырехэтажном здании. Для управления процессом теплообмена на каждом медном конвекторе установлено по 2 вентилятора, производительность которых регулируется заданной программой. Третий стояк стенда имитирует работу двухтрубной системы. На нем установлены 4 биметаллических радиатора, мощностью 484 Вт каждый. Кроме того, в состав стенда входит четвертый стояк, где предусмотрена оперативная замена отопительных приборов с целью испытания теплообменников различных конструкций, а также для исследования интеграторов температурного напора с беспроводным интерфейсом (ИТНБ) [4]. Такие электронные приборы часто называют измерителями распределенного тепла, на их использовании основана методика определения индивидуального потребления тепловой энергии, активно используемая за рубежом [5] и являющаяся альтернативой предлагаемого авторами прямого метода определения индивидуального потребления тепла.

Регулирование температуры теплоносителя в системе отопления осуществляется с помощью проточно-накопительного нагревателя StiebelEltron HFA 100Z, объемом 100 л и электрической мощностью 4 кВт. Для уменьшения времени подогрева теплоносителя до максимальной температуры дополнительно используют два нагревателя проточного типа StiebelEltron DHC3, мощностью 3 кВт. Движение теплоносителя в системе отопления выполняется с помощью циркуляционных насосов WiloStratus 25/1-8 и Wilo-Star-RS 30/7, причем второй насос используется для обеспечения максимального расхода теплоносителя – 1000 л/час. Для обеспечения избыточного давления в системе отопления применяется насосная станция Wilo MC 305. Расходомеры MinolMi, имеющие импульсный канал измерений с разрешением 1 л/имп. и погрешность

измерений 2 %, и СИБ-1К, а также высокоточные ультразвуковые расходомеры КАРАТ-РС, обладающие относительной погрешностью измерений 1 %, показывают расход теплоносителя в стояках. Для регулирования расхода через отопительные приборы применяют терморегуляторы фирм Danfoss и Valtec.

Температура теплоносителя определяется с помощью ИТБ-1, установленных в герметичных гильзах, размещенных на контролируемых участках трубопровода, а также аттестованных платиновых термометров сопротивления ПТСВ-2к-3, имеющих абсолютную погрешность измерений $\pm 0,02$ °С и установленных рядом с ИТБ-1. Термометры сопротивления подключены к высокоточному многоканальному измерителю температуры МИТ-8.15.

Для определения расхода тепловой энергии в двухтрубной системе отопления на третьем стояке используют квартирные теплосчетчики Карат-Компакт МБ-20-2,5, с погрешностью измерений 4 %.

Потребление тепловой энергии всей системой отопления, представленной на стенде, контролируют с помощью комплекса учета энергоресурсов ЭЛЬФ-01, с погрешностью не более 3 %. Таким образом, этот прибор выполняет функции домового теплосчетчика в системе отопления.

Стенд имитирует работу ИСКЭ в реальных условиях эксплуатации. В процессе исследований температура теплоносителя меняется от 20 до 85 °С, а расход теплоносителя регулируется в пределах 30 – 1000 л/ч.

С помощью ИТБ-1 измеряют температуру теплоносителя в трубопроводах и определяют разность температур как на участках стояков, принадлежащих квартирам на каждом этаже, так и на стояке в целом. Таким образом, вычисляя разность температур теплоносителя на контролируемых участках системы отопления и массовый расход теплоносителя на каждом стояке, можно рассчитать тепловую энергию, выделяемую на этих участках.

Массовый расход теплоносителя определяют следующим образом. В однотрубной системе отопления на каждом стояке устанавливают расходомеры объема теплоносителя. Для каждого рассматриваемого участка трубопровода определяется плотность теплоносителя, соответствующая температуре этого участка, измеренной ИТБ-1. Таким образом, зная объемный расход и плотность, можно вычислить массовый расход теплоносителя. Измерение температуры и объемного расхода проводят высокоточными приборами. Значение плотности теплоносителя определяют с учетом его температуры. Все вместе это позволяет рассчитывать тепловую энергию с высокой точностью. В двухтрубной системе расходомеры устанавливают на каждом участке системы отопления.

Электронные компоненты, методики измерения тепловой энергии и ИСКЭ в целом аттестовывают следующим образом. Данные по измерению температуры, получаемые с ИТБ-1, контролируют методом сличения с данными эталонных термометров ПТСВ-2к-3, установленных рядом с исследуемыми ИТБ-1 и подключенных к измерителю температуры МИТ-8.15. Погрешность измерения температуры ИТБ-1 вычисляют для контроля их функционирования в реальных условиях, оценки способа установки ИТБ-1 в трубопроводах. Необходимо отметить, что ИТБ-1 сертифицирован как средство измерений, имеющее абсолютную погрешность, не превышающую 0,05 °С (свидетельство об утверждении типа средств измерений RU.C.32.010.A № 43483).

Данные о расходе теплоносителя, горячей и холодной воды, поступающие от СИБ-1К и СИБ-2К, подключенных к расходомерам Minol Minomes, сравниваются с данными, полученными от высокоточных ультразвуковых расходомеров КАРАТ-РС. Счетчики импульсов также сертифицированы как средства измерения, имеющие относительную погрешность, не превышающую 0,1 % (свидетельство об утверждении типа средств измерений RU.C.34.004.A № 48615).

Используя полученные с помощью измерительных приборов данные о термодинамических параметрах, по разработанным для ИСКЭ методикам и соответствующему программному обеспечению рассчитывают количество потребленной холодной и горячей воды, массовый расход и температуру теплоносителя, а также потребленную тепловую энергию.

Алгоритм сличения результатов измерений выглядит следующим образом. Информация с ИТБ-1 и расходомеров через СИБ-1К и СИБ-2К по радиоканалу поступает на локальный ретранслятор и затем через интерфейс RS-485 на сервер (ЦСС), роль которого в структуре комплекса выполняет ДР, оснащенный специализированным программным обеспечением. На ДР вычисляют параметры системы: температуры и их разности, расход теплоносителя, горячей и холодной воды, а также расчет тепловой энергии. Полученные результаты выводятся на монитор, входящий в структуру стенда.

Данные от измерителя температуры МИТ-8.15, ультразвуковых расходомеров КАРАТ-РС, теплосчетчика КАРАТ Компакт МБ-20-2,5, комплекса учета энергоресурсов ЭЛЬФ-01 через интерфейс связи RS-232 поступают также на ЦСС и монитор стенда.

Необходимо отметить, что при испытаниях ИСКЭ в целях утверждения типа средств измерений, проведенных на рассматриваемом измерительном комплексе, передача результатов исследований во

Всероссийский научно-исследовательский институт метрологической службы осуществлялась в режиме реального времени по Интернету.

Для функционирования комплекса были разработаны аппаратно-программные средства, предназначенные для управления режимами работы стенда, непрерывного мониторинга термодинамических параметров, измеряемых беспроводными электронными оконечными устройствами, расчета измеренных параметров и сохранения этих значений в базе данных с одновременным выводом результатов на устройства отображения информации и передачи данных.

На измерительный комплекс на основании результатов первичной аттестации, проведенной «Ростест-Москва», получен аттестат Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии № 1663/442-0004138.

Обобщенные технические характеристики измерительного комплекса

Рабочая среда	вода деаэрированная
Условный диаметр прохода трубопроводов контуров	20 мм
Диапазоны расходов воды в контурах	
холодной воды	0,03 – 0,5 м ³ /ч
тепловом	0,1 – 1,0 м ³ /ч
Диапазон температуры воды	20 – 95 °С
Максимальная мощность, рассеиваемая радиаторами теплового контура . . .	10,1 кВт
Давление воды	0,2 МПа
Нестабильность поддержания заданного расхода воды, не более	
20 мин	10 %
60 мин	20 %
Период основной моды колебания расхода воды	20 мин
Нестабильность поддержания заданной температуры воды, не более	
20 мин	2 °С
60 мин	5 °С
Пределы погрешности измерений температуры воды в точках установки эталонных термометров	±0,03 °С
Пределы погрешности измерений расхода воды	±1 %
Электропитание:	
напряжение сети	220±15 В
частота	50±1 Гц
Потребляемая мощность	20 кВт
Время достижения температуры воды 75 °С в накопительном баке в режиме циркуляции с расходом 0,3 м ³ /ч, не более	120 мин

Условия эксплуатации:

температура окружающего воздуха 20 ± 10 °С
относительная влажность воздуха 35 ± 15 %.

Результаты сличения данных по температуре теплоносителя, измеренных ИТБ-1 и МИТ-8, показали, что максимальное отличие не превышает $0,01$ °С, значения объемного расхода теплоносителя различаются не более чем на 1 %.

Для обоснования достоверности измерений по предлагаемой методике учета индивидуального потребления тепла проводили сравнительный анализ результатов измерений тепловой энергии, потребленной системой отопления, полученных с помощью теплосчетчиков, используемых в структуре стенда, и определенной с помощью ИСКЭ. Испытания проводили в течение четырех месяцев непрерывной эксплуатации стенда. Максимальная разница в показаниях теплосчетчиков и ИСКЭ не превысила 0,5 %.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках Федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007 – 2013 годы» (государственный контракт № 16.516.11.6067).

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Штерн Ю. И., Кожевников Я. С., Рыков В. М. Интеллектуальная система контроля индивидуального потребления энергоресурсов // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2012. № 12. С. 52 – 58.
2. Пат. 2374566 РФ. Система измерения и учета поквартирного потребляемого тепла в системах теплоснабжения / В. А. Беспалов и др. // Изобретения. Полезные модели. 2009. № 33.
3. Пат. 2450250 РФ. Устройство для измерения температуры теплоносителя и беспроводной измеритель температуры / Ю. И. Штерн и др. // Изобретения. Полезные модели. 2012. № 13.
4. Штерн Ю. И. и др. / Фундаментальные и прикладные исследования, разработка и применение высоких технологий в промышленности: XII Междунар. науч.-практ. конф. Сб. Докл. С-Пб.: Изд-во Политех. ун-та, 2011. Т. 2. С. 402 – 404.
5. Медведев В. А. Счетчики-распределители теплоснабжения. Метрологические аспекты // Мир измерений. 2004. № 5. С. 17 – 19.

Дата принятия 29.01.2013 г.