



*Разработка и исследование
интеллектуальной системы контроля
потребления энергоресурсов*

*Выполнила студентка группы ИТС-64М
Павленко Н.Ю.*

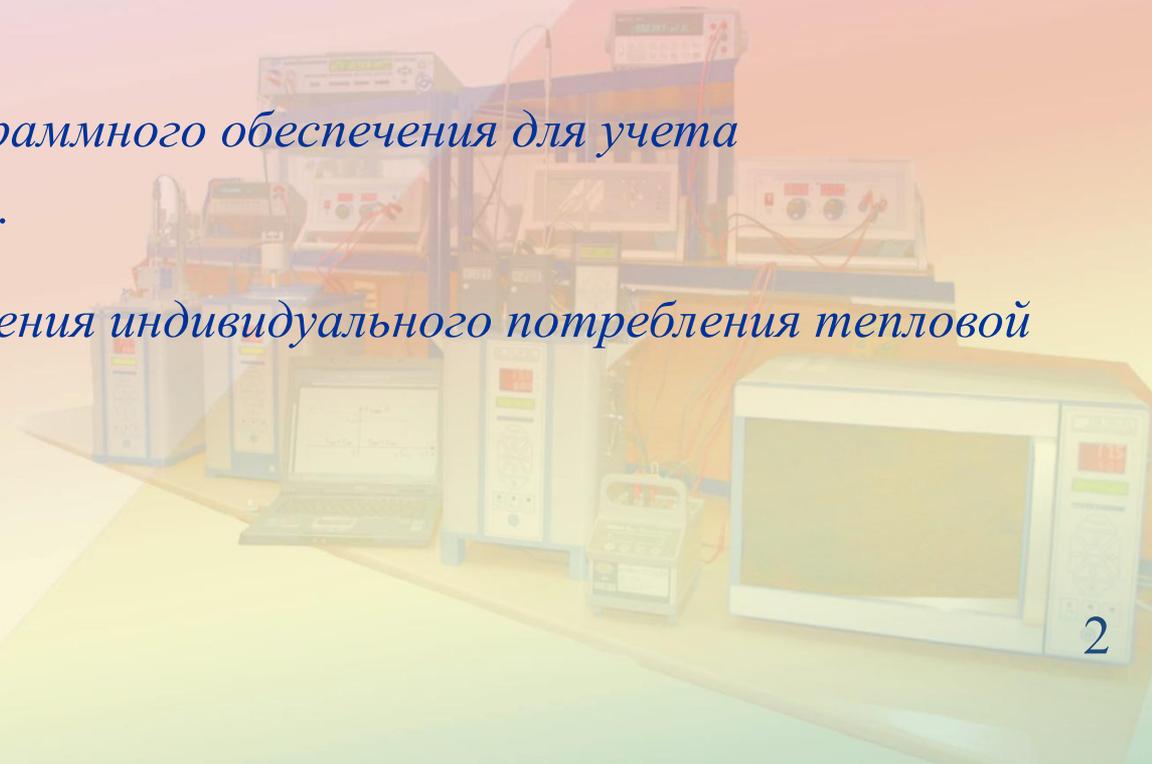
*Научный руководитель
д.т.н., проф. Штерн Ю.И.*

*Национальный исследовательский университет
«МИЭТ»*

*Базовая кафедра «Интеллектуальные энергосберегающие
системы»*

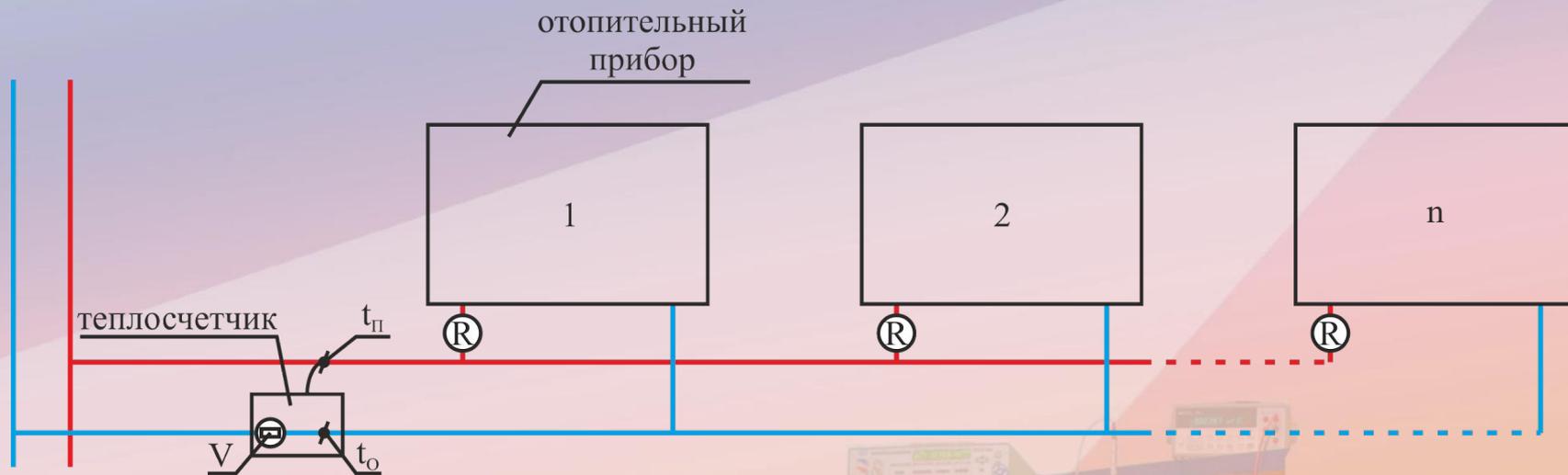
Москва, 2013

- Анализ существующих методов учета индивидуального потребления тепловой энергии;
- Разработка структуры интеллектуальной системы учета индивидуального потребления энергоресурсов;
- Разработка высокоточного беспроводного средства измерения температуры;
- Разработка методики и программного обеспечения для учета индивидуального потребления;
- Оценка погрешности определения индивидуального потребления тепловой энергии.



Контроль индивидуального потребления тепловой энергии

Квартирный теплосчетчик



Двухтрубная горизонтальная система отопления

Преимущества:

- метод прямого определения потребленной тепловой энергии.

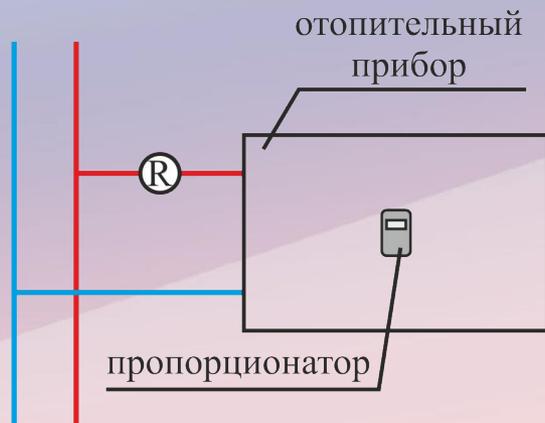
Недостатки:

- только двухтрубная система отопления;
- значение Δt не менее $3\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- разгерметизация системы отопления на стадии монтажа;
- нет контроля общедомовых затрат.

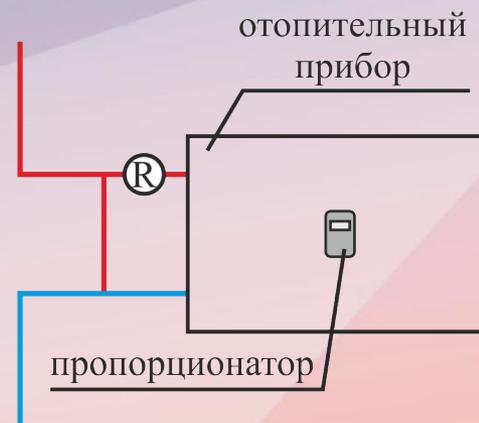
t_{Π} – датчик температуры в подающем трубопроводе, t_o – датчик температуры в обратном трубопроводе, V – расходомер, R – регулятор подачи теплоносителя.

Контроль индивидуального потребления тепловой энергии

Распределитель потребленного тепла (пропорционатор)



*Двухтрубная система
отопления*



*Однотрубная система
отопления*

Преимущества:

- не зависит от системы отопления;
- установка без разгерметизации системы отопления.

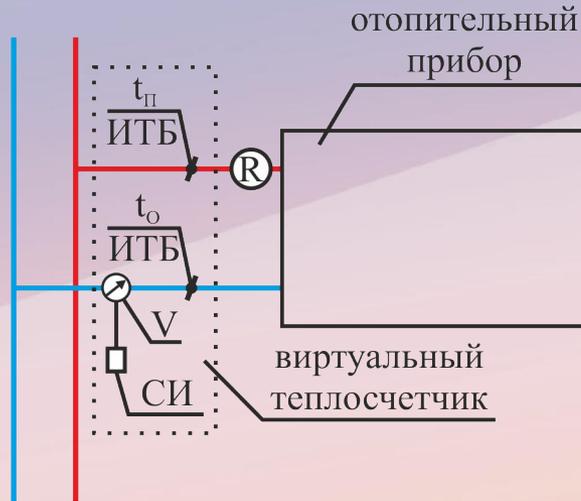
Недостатки:

- косвенный метод определения потребленной тепловой энергии;
- нет контроля общедомовых затрат.

R – регулятор подачи теплоносителя.

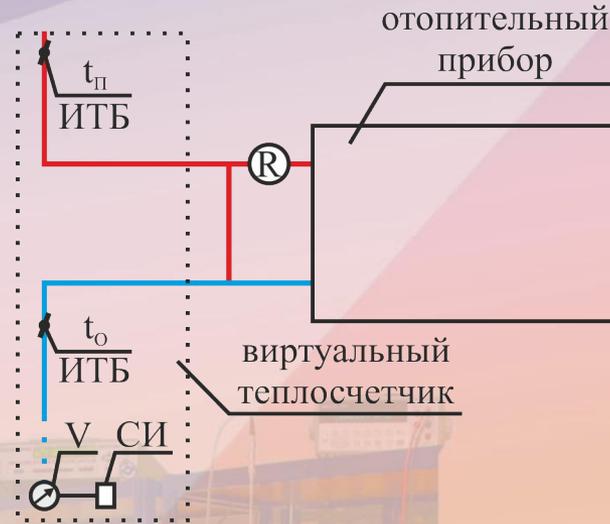
Контроль индивидуального потребления тепловой энергии

Интеллектуальная энергосберегающая система (ИЭС)



*Двухтрубная система
отопления*

$$Q = cm\Delta t$$



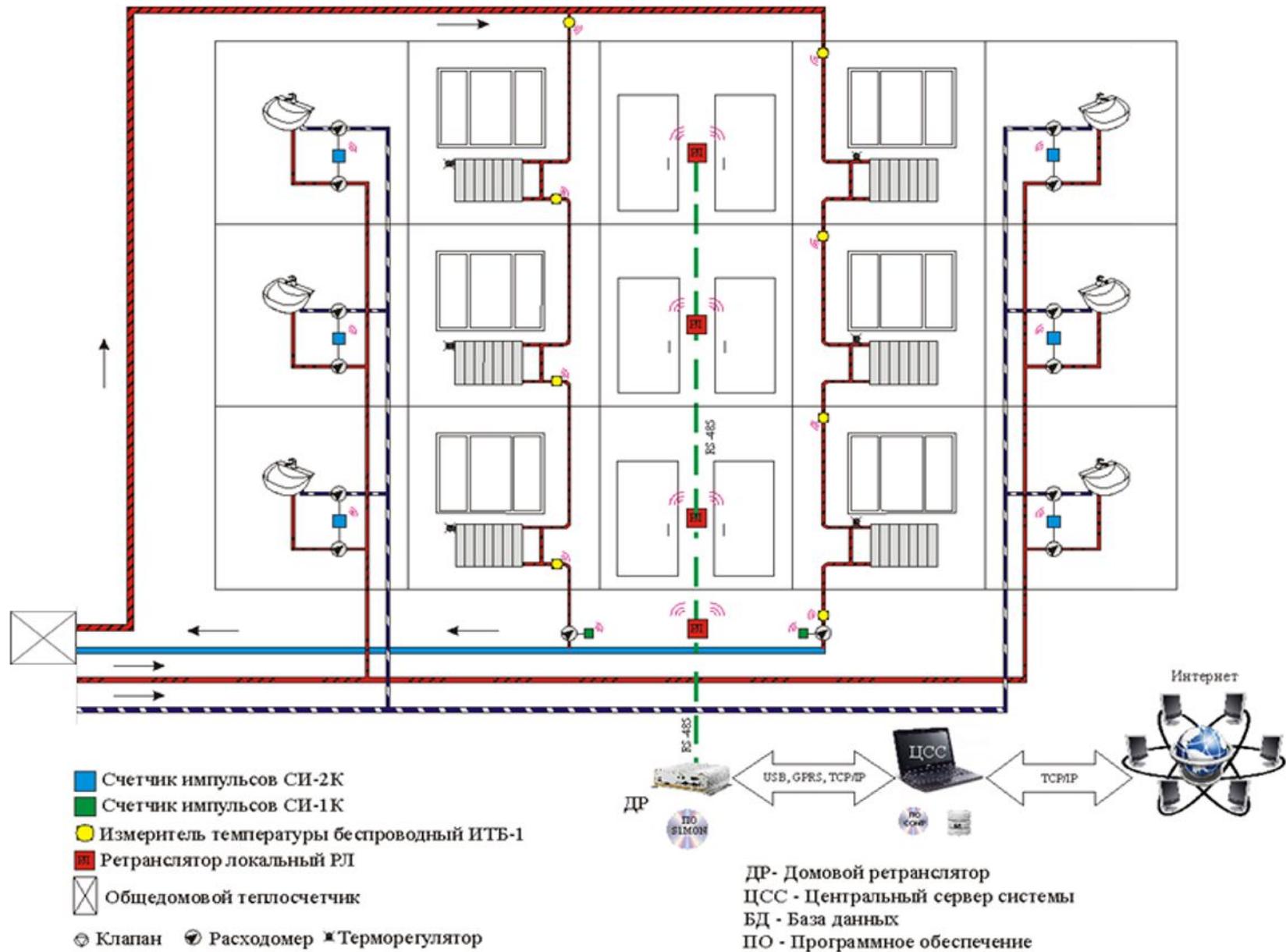
*Однотрубная система
отопления*

$t_{\text{п}}$ – интеллектуальный датчик температуры (ИТБ) в подающем трубопроводе,
 $t_{\text{о}}$ – интеллектуальный датчик температуры (ИТБ) в обратном трубопроводе,
 V – расходомер, СИ – счетчик импульсов, R – регулятор подачи теплоносителя.

Преимущества:

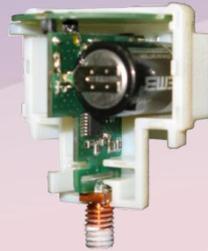
- не зависит от системы отопления;
- есть контроль общедомовых затрат;
- метод прямого определения потребленной тепловой энергии.

Структура интеллектуальной системы контроля потребления энергоресурсов



Измеритель температуры беспроводной (ИТБ)

Измеритель температуры беспроводной – устройство, которое предназначено для измерения температуры теплоносителя и имеет следующие параметры:



диапазон измерения температуры теплоносителя: от 5 до 95 °С;
абсолютная погрешность измерения температуры не хуже $\pm 0,05^\circ\text{C}$;
несущая частота радиоканала трансивера 434 МГц;
разрядность – не менее 16;
режим микропотребления;
излучаемая мощность радиотрансивера - 10 мВт;
дальность радиосвязи - до 100 м;
габариты: 50 x 45 мм.



Патент РФ № 2373502

Патент РФ № 2450250

Счетчик импульсов (СИ)

Счетчик импульсов – беспроводное устройство, которое позволяет считать импульсы от устройств с импульсным выходом (например, счетчиков расхода воды, газа, электроэнергии) за определенный промежуток времени и имеет следующие программируемые параметры:

- цена импульса, определяющая расход энергоносителя;
- временной промежуток измерения от 1 мин до 24 часа;
- начальное значение счетчика импульсов.



Два канала измерения импульсов.
Несущая частота радиоканала трансивера – 434 МГц.
Время непрерывной работы до 6 лет.
Габариты: 100 x 25 x 45 мм



Ретранслятор локальный (РЛ)

Ретрансляторы локальные (РЛ) имеют беспроводной интерфейс с протоколом *SimpliciTi* для обмена информацией с измерительными устройствами и сервером, а также RS-485 – проводной интерфейс связи с сервером. В состав локального ретранслятора входит микроконтроллер, работающий под управлением программного обеспечения.

Параметры:

- ✓ память программ – не менее 32 Кбайт;
- ✓ память данных – не менее 2 Кбайт;
- ✓ энергонезависимая память данных – 16 Мбит;
- ✓ разрядность – не менее 16;
- ✓ радиотрансивер – до 1 ГГц;
- ✓ часы реального времени;
- ✓ интерфейс связи с ПК;
- ✓ количество подключаемых устройств по радиоканалу – до 127 аб.;
- ✓ дальность опроса устройств по радиоканалу – от 100 до 500 м;
- ✓ питание: 5-12 В;
- ✓ габариты: 80 x 30 x 100 мм.



Комнатный монитор (КМ)

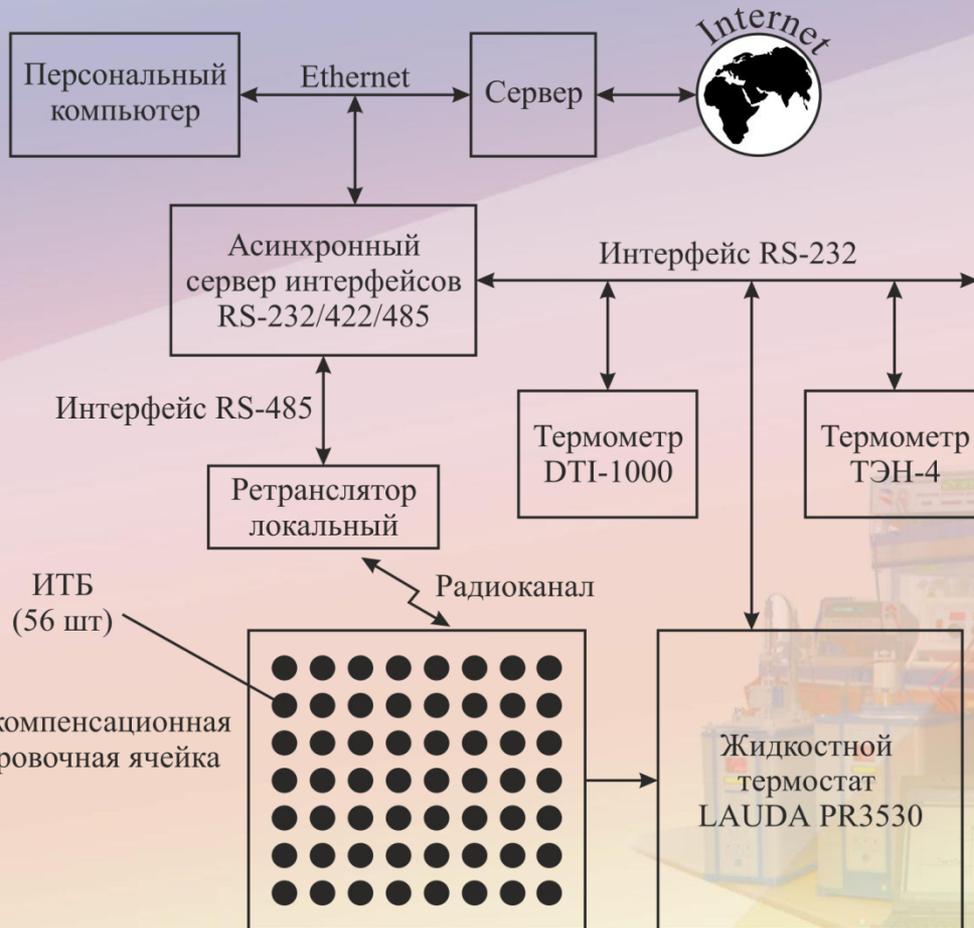
Комнатный монитор – беспроводное устройство с индикатором для отображения термодинамических параметров Системы и результатов расчета потребления энергоносителей.



Параметры:

- ✓ память программ – не менее 32 Кбайт;
- ✓ память данных – не менее 2 Кбайт;
- ✓ энергонезависимая память данных – 16 Мбит;
- ✓ разрядность – не менее 16;
- ✓ радиотрансивер – до 1 ГГц.

Структурная схема аппаратно-программного комплекса для автоматической калибровки ИТБ-1



Математическая модель для реализации в ИТБ-1

$$t = (W + a) / (bW + c)$$

W – относительное сопротивление;
 a, b, c – некоторые постоянные коэффициенты.

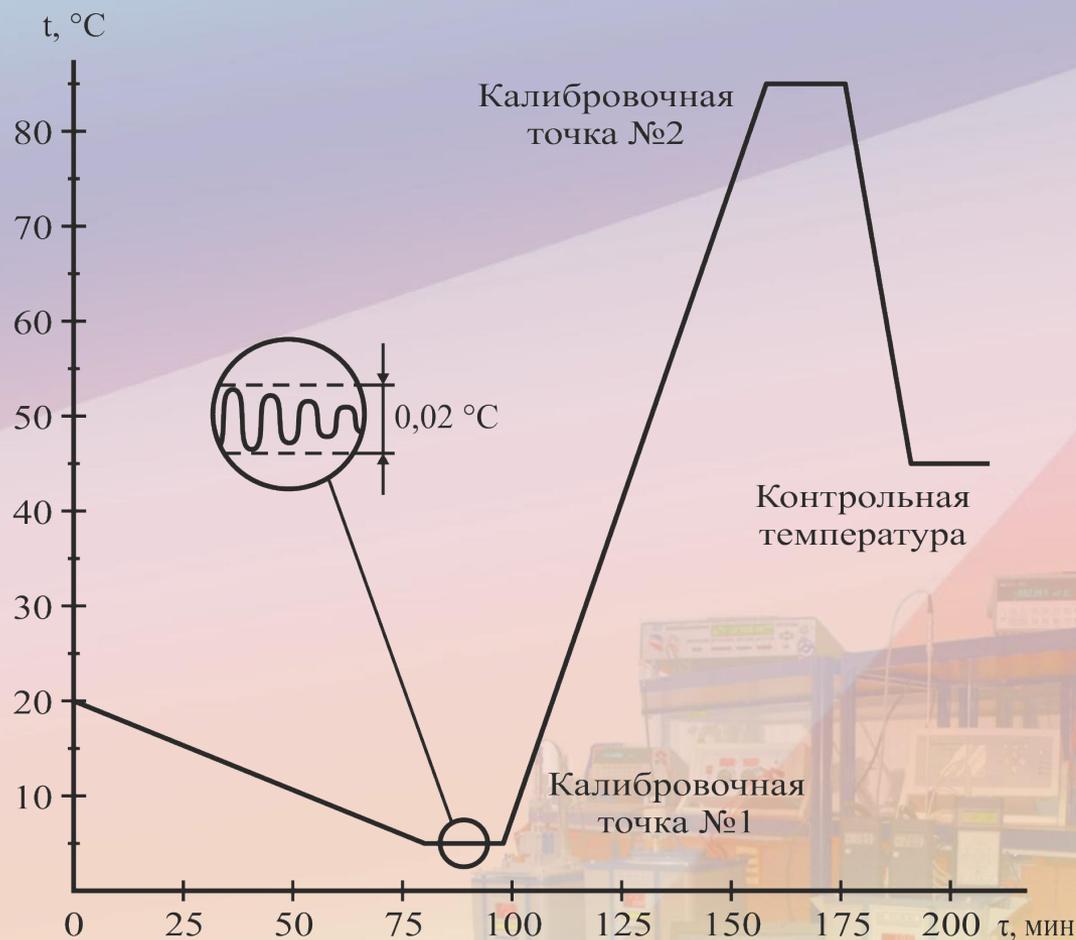
Линейная функция отклонения

$$W_r = kW(t) + m$$

k, m – калибровочные коэффициенты;

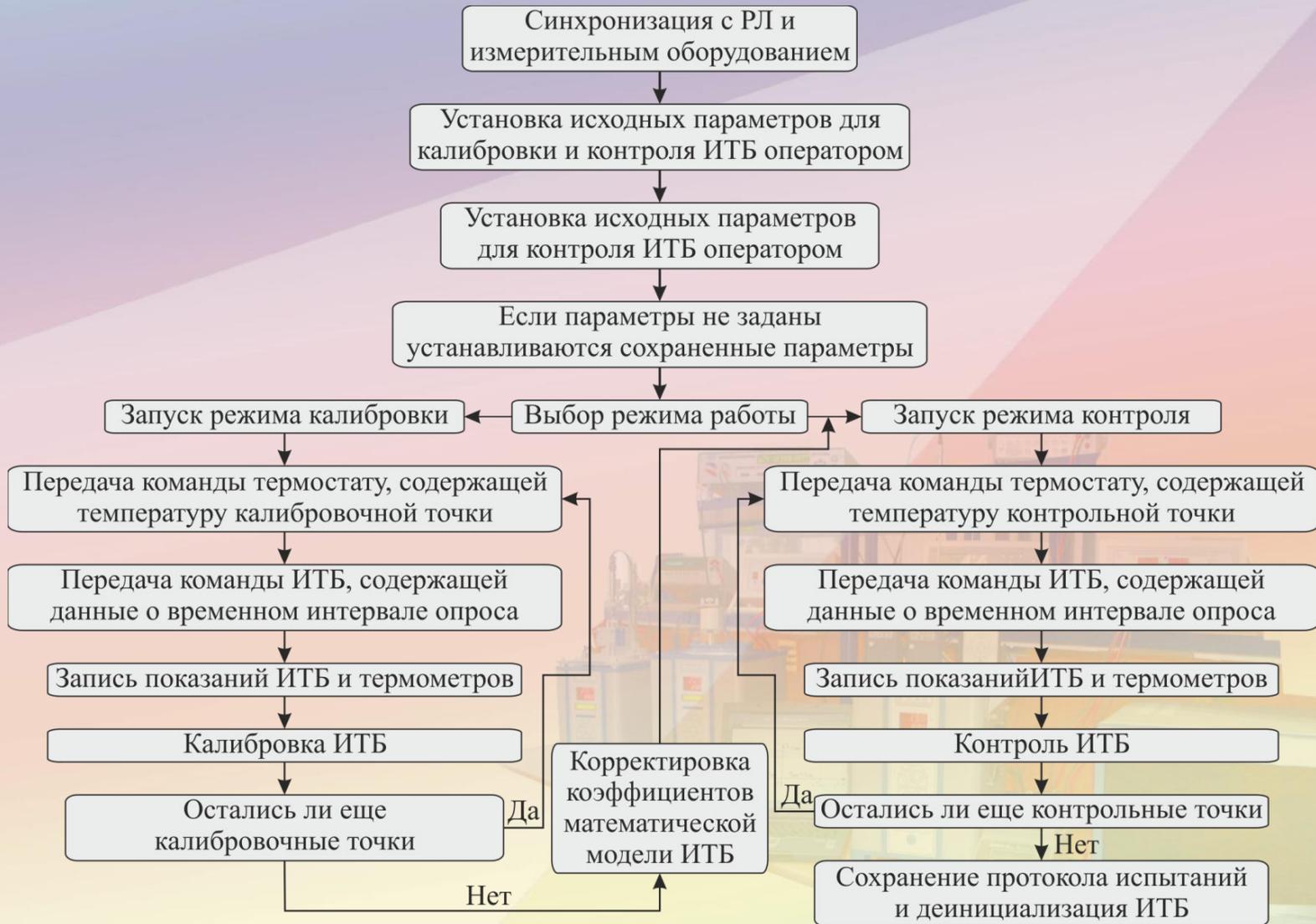
$W(t)$ – относительное сопротивление калибруемого датчика

Диаграмма процесса калибровки ИТБ-1

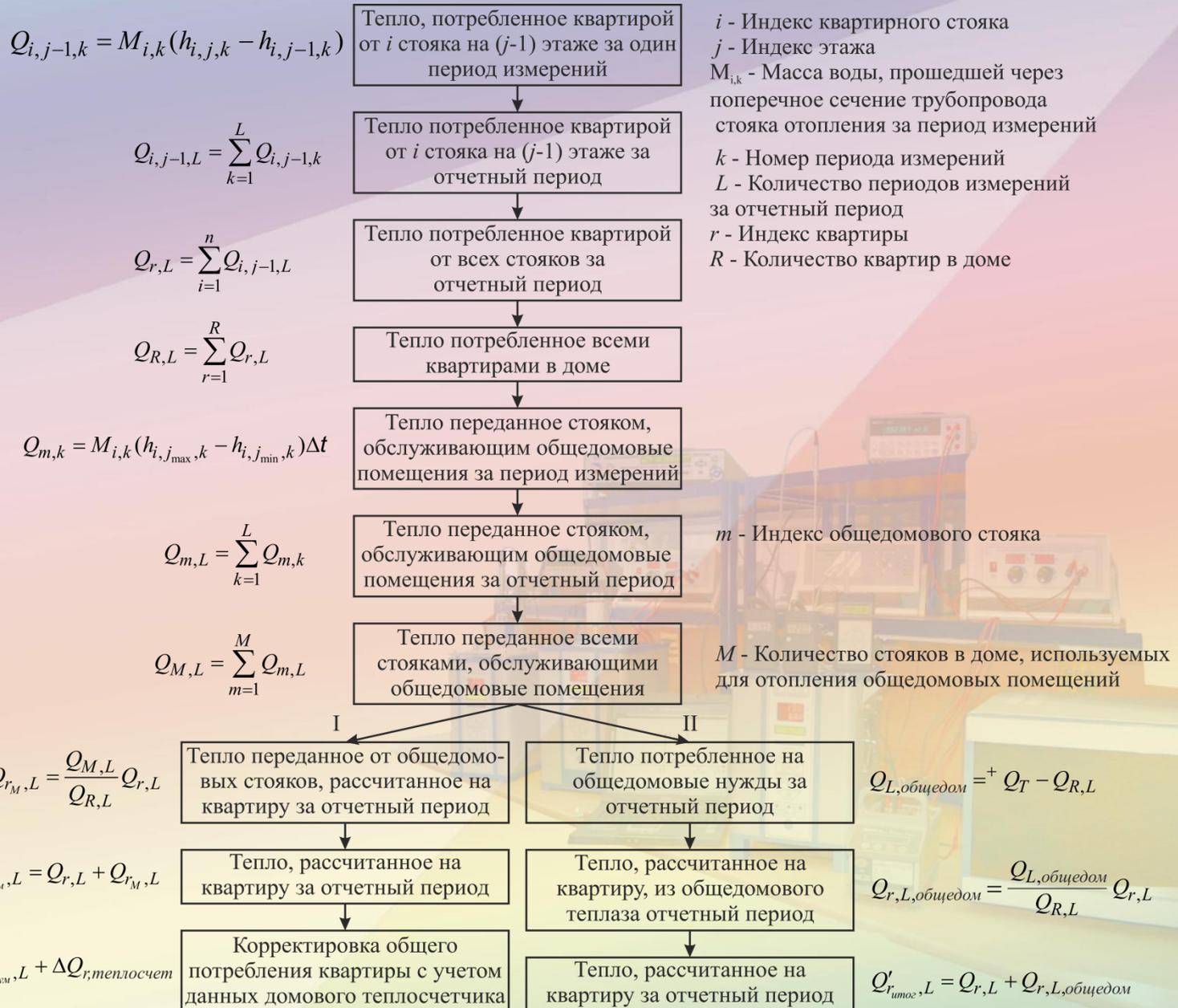


Проведенные исследования по калибровке опытной партии ИТБ в количестве 2000 образцов показали, что абсолютная погрешность измерений температуры не превышает $\pm 0,05^{\circ}\text{C}$.

Блок-схема алгоритма программного обеспечения для исследования и калибровки ИТБ-1



Методика определения тепловой энергии, потребленной одной квартирой за отчетный период



Методика определения тепловой энергии, потребленной одной квартирой за отчетный период

Количество тепловой энергии, потребленное квартирой от i -го стояка на j -м этаже в период измерений k

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

$M_{i,k} = I_k w \rho_{t_\rho,k}$ - масса воды, прошедшей через поперечное сечение трубопровода стояка отопления за период измерений;

w - вес импульса расходомера/счетчика, л; I_k - Количество импульсов расхода воды в системах отопления и водоснабжения за период измерений; t_ρ - температура воды в стояке, измеренная термометром, ближайшим к расходомеру;

$h_{ijk} = 4,18544 t_{ijk}$ - удельная энтальпия воды (кДж/кг) в подающем и обратном трубопроводах контролируемого участка квартирного стояка на j -м этаже за период измерений;

$\rho_{t_\rho,k} = 1001,35524 - 0,091435 t_{\rho k} - 0,00305 t_{\rho k}^2$ - плотность воды в расходомере стояка отопления за период измерений.

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

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

L - количество периодов измерений за отчетный период; n - количество стояков в одной квартире; R - количество квартир в доме

Методика определения тепловой энергии, потребленной одной квартирой за отчетный период (продолжение)

Количество теплоты, переданное стояком m , обслуживающим общедомовые помещения, в период измерений k и за весь отчетный период:

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

$Q_{BL} = \sum_{m=1}^B Q_{mL}$ - измеренное количество теплоты, переданное всеми общедомовыми стояками за период L

Первый алгоритм расчета потребления тепловой энергии.

Количество теплоты, переданное общедомовыми стояками и рассчитанное для одной квартиры за отчетный период: $Q_{r_B L} = (Q_{BL} / Q_{RL}) Q_{rL}$

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 :

$$Q_{r_{\text{общ}}} L = Q_{rL} + Q_{r_B L} \quad Q_{R_{\text{общ}}} L = \sum_{r=1}^R Q_{r_{\text{общ}}} L$$

По технологическим причинам часть тепловой энергии, расходуемой на отопление общедомовых помещений, или тепловые потери не всегда могут быть измерены. Тогда эту дополнительную энергию можно вычислить для каждой квартиры:

$$\Delta Q_T = \left[\left(\frac{Q_{R_{\text{общ}}} L}{Q_{r_{\text{общ}}} L} \right) - 1 \right] Q_{r_{\text{общ}}} L$$

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: $Q_{r_{\text{итог}}} L = Q_{r_{\text{общ}}} L + \Delta Q_T$

Методика определения тепловой энергии, потребленной одной квартирой за отчетный период (продолжение)

Второй алгоритм.

Количество теплоты, потребленной на общедомовые нужды, рассчитывают по показаниям общедомового теплосчетчика за отчетный период или по известным значениям тепловой энергии, потребленной домом и измеренной при помощи Системы:

$$Q_{L_{OT}} = Q_T - Q_{RL}$$

Количество тепловой энергии, потребленное на общедомовые нужды и рассчитанное для одной квартиры за весь период:

$$Q_{rL_{OT}} = \left(Q_{L_{OT}} / Q_{RL} \right) Q_{rL}$$

Итоговое количество потребленной тепловой энергии, рассчитанное на одну квартиру за отчетный период:

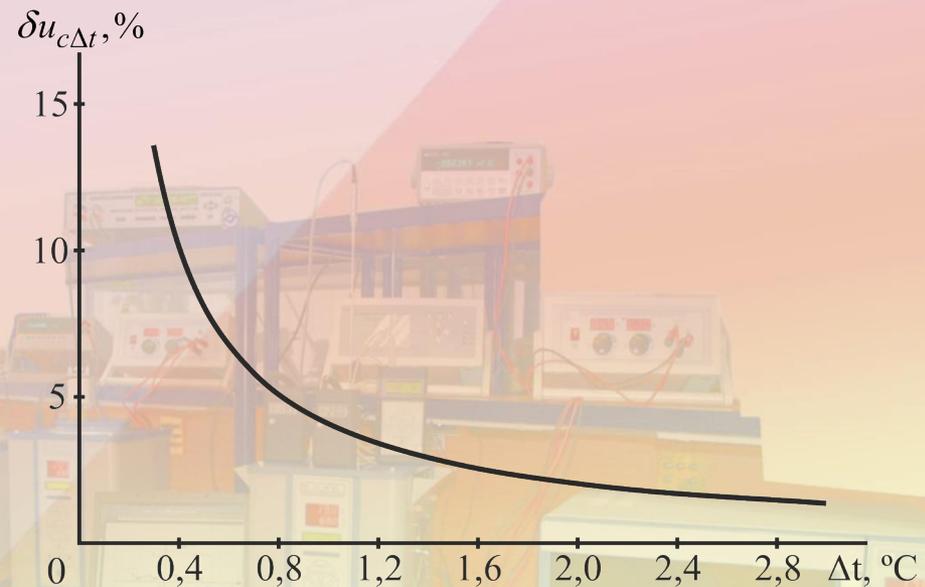
$$Q'_{r_{итог}L} = Q_{rL} + Q_{rL_{OT}}$$

Относительная стандартная погрешность определения разности температур теплоносителя

$$\delta u_{c\Delta t} = \frac{u_{c\Delta t}}{\Delta t} \cdot 100\%$$

$u_{c\Delta t}$ – стандартная неопределенность для разности температур

$\Delta t, ^\circ\text{C}$	Относительная стандартная неопределенность по Δt ($\delta u_{c\Delta t}$), %
0,3	13,61
0,5	8,16
1	4,08
1,5	2,72
2	2,04
2,5	1,63
3	1,36



Δt – разность температур теплоносителя на подающем и обратном трубопроводах в одной квартире

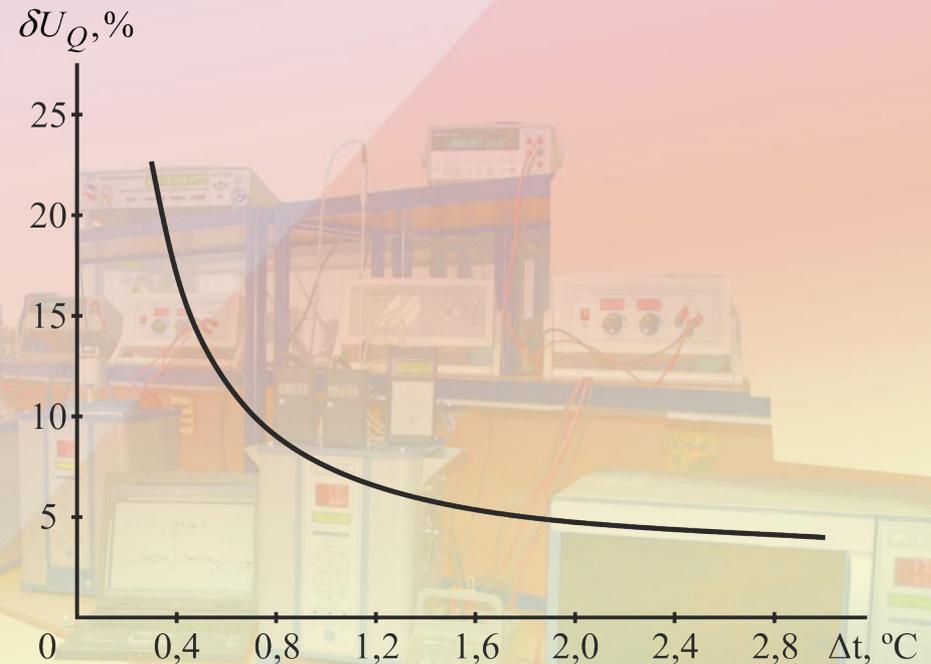
Относительная погрешность измерения тепловой энергии от разности температур теплоносителя

$$\delta U_Q = k(p) \sqrt{(\delta u_{cm})^2 + (\delta u_{c\Delta t})^2}$$

u_{cm} и $u_{c\Delta t}$ – суммарные стандартные неопределенности определения массы и разности температур, соответственно;

$k(p)$ – коэффициент охвата.

$\Delta t, ^\circ\text{C}$	Относительная доверительная погрешность, % (относительная расширенная неопределенность по Q)
	Равномерное распределение
0,3	22,69
0,5	13,87
1	7,50
1,5	5,57
2	4,72
2,5	4,26
3	3,99



Δt – разность температур теплоносителя на подающем и обратном трубопроводах в одной квартире

Средневзвешенная арифметическая погрешность потребленной за отопительный сезон тепловой энергии

Месяц	$t_{окр.ср.}, ^\circ\text{C}$	$t_{п}, ^\circ\text{C}$	$t_{о}, ^\circ\text{C}$	$\Delta t_{ст}, ^\circ\text{C}$	$\Delta t_{ст}/10, ^\circ\text{C}$	$\delta Q_{кв}, \%$
1	-10,2	71	55	16	1,6	5,36
2	-9,2	69	54	15	1,5	5,58
3	-4,3	62	49	13	1,3	6,13
4	4,4	47	39	8	0,8	9,06
5	11,9	-	-	-	-	-
6	16	-	-	-	-	-
7	18,1	-	-	-	-	-
8	16,3	-	-	-	-	-
9	10,7	-	-	-	-	-
10	4,3	47	39	8	0,8	9,06
11	-1,9	58	46	11	1,1	6,94
12	-7,3	67	52	14	1,4	5,83

$$\delta \bar{Q}_{кв} = \sum_{i=1}^{12} \frac{\Delta t_{стi}}{10} \cdot \delta Q_{квi} / \sum_{i=1}^{12} \frac{\Delta t_{стi}}{10}$$

$t_{окр.ср.}$ – средняя температура окружающей среды;

t_n – расчетная температура подающего трубопровода;

t_o – расчетная температура обратного трубопровода;

$\Delta t_{ст}$ – разность температуры подающего и обратного трубопровода отопительного стояка

Средневзвешенная арифметическая погрешность определения тепловой энергии, потребленной одной квартирой за отопительный сезон, составляет не более 6,50 %, что является вполне приемлемым. Эта погрешность ниже, чем у единственного альтернативного способа индивидуального учета тепловой энергии, основанного на использовании распределителей потребленного тепла.



Интеллектуальная система контроля энергоресурсов превосходит отечественные и зарубежные аналоги по большинству основных параметров. При этом стоимость системы значительно ниже. Как показывает практика, эффект внедрения индивидуальных средств учета тепла за Рубежом составляет не менее 20%. В России прогнозируемый эффект от внедрения индивидуальных средств учета тепла может составить до 40%.

В настоящее время ВНИИМС аттестовала интеллектуальную систему контроля и методы учета потребления энергоресурсов (Свидетельство об утверждении типа средств измерений № 50482). Разработаны типовые проекты домов с использованием Системы и готовится их внедрение.

Результаты диссертационной работы доложены на двух конференциях:

- Павленко Н.Ю. Интеллектуальная система для индивидуального контроля энергоресурсов // 19-я Всероссийская межвуз. Научно-техническая конф. «Микроэлектроника и информатика - 2012». – М.:МИЭТ, 2012. – С. 38*
- Павленко Н.Ю. Разработка и исследование интеллектуальной системы контроля потребления энергоресурсов // Всероссийская межвуз. конф. «Инновации. Энергосбережение. Право» - 2013.*

Спасибо за внимание

