

## АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС УЧЕТА ПОТРЕБЛЯЕМОЙ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ

*Мукашев А.М., Абрамчук С.И., Пуговкин А.В., Бойченко А.В., Купреков С.В.,  
Петрова Н.И.*

*Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,  
г. Томск*

Целью данной работы является разработка аппаратно-программного комплекса учета тепловой энергии и испытание ее в реальных условиях эксплуатации.

Актуальность исследований заключается в том, что учет потребляемой тепловой энергии является важнейшей составляющей энергосбережения и стимулирует конечных потребителей к экономии энергоресурсов [1-3].

В системах теплоснабжения объектов основную долю (95%) составляют системы с вертикальной разводкой. Поквартирный учет потребляемой тепловой энергии в таких системах не нашел массового применения в силу сложности реализации известными методами. Для систем теплоснабжения с горизонтальной разводкой есть приемлемые решения, однако они не применимы для вертикальной разводки в силу малых перепадов температур и необходимости измерения расхода теплоносителя. Это приводит к низкой точности измерений и высокой стоимости оборудования и эксплуатации. Известны частные решения для систем с вертикальной разводкой (фирмы «Данфос», «Де Прима», «Thechem» и др.), работающие по технологии распределителей стоимости потребленного тепла, однако они обладают низкой точностью измерений в связи с тем, что не учитывают индивидуальный характер теплового режима отдельного помещения и индивидуальных характеристик отопительных приборов. Эти системы не нашли широкого применения в России и странах СНГ.

Решение поставленной задачи можно разделить на несколько этапов:

- разработка структурной схемы системы;
- выбор необходимых элементов системы для ее полноценной работы;
- разработка программного обеспечения;
- испытание системы в реальных условиях.

Нами предложен метод измерения основанный на уравнении уравнения Ньютона-Рихмана. При этом основной задачей является нахождение коэффициента теплоотдачи. Он находится экспериментально с учетом двух физических процессов теплообмена: конвекция и радиация.

$$P_{\text{тепл}} = G_{\text{ист}} \cdot (T_{\text{ист}} - T_{\text{возд}}), \quad (1)$$

где  $P_{\text{тепл}}$  – тепловая мощность, отдаваемая отопительным прибором;

$G_{\text{ист}}$  – коэффициент теплоотдачи отопительного прибора;

$T_{\text{ист}}$  – средняя температура поверхности отопительного прибора;

$T_{\text{возд}}$  – средняя температура воздуха в помещении;

$T_{\text{ист}} - T_{\text{возд}}$  – температурный напор.

Основной задачей, подлежащей решению, при этом является нахождение коэффициента теплоотдачи, который обычно находится из справочной литературы или путем измерения в специализированных лабораториях [4].

Нами разработан метод измерения коэффициента теплоотдачи [5]. В динамическом режиме (например: прекращение подачи тепловой энергии) из нестационарного уравнения теплового баланса получим:

$$G_{\text{ист}} = \frac{C_{\text{ист}} \frac{dT_{\text{ист}}}{dT_{\text{возд}}}}{T_{\text{ист}} - T_{\text{возд}}}, [\text{Вт}/^{\circ}\text{C}] \quad (2)$$

где  $C_{\text{ист}}$  – теплоемкость отопительного прибора;  $\frac{dT_{\text{ист}}}{dT_{\text{возд}}}$  – скорость изменения температуры.

Экспериментальные данные считываются с температурных датчиков, подсоединённых к отопительному прибору, с определенным временным интервалом, заносятся в память и обрабатываются в соответствии с выражением (2). Теплоемкость отопительного прибора вычисляется путем суммирования теплоемкости корпуса металлического прибора и воды. Данный метод повышает точность измерений тепловой энергии, отдаваемой отопительным прибором с учетом его индивидуальных особенностей, и существенно сокращает время измерения коэффициента теплоотдачи. На (рис. 1) приведена структурная схема системы учета тепловой энергии:

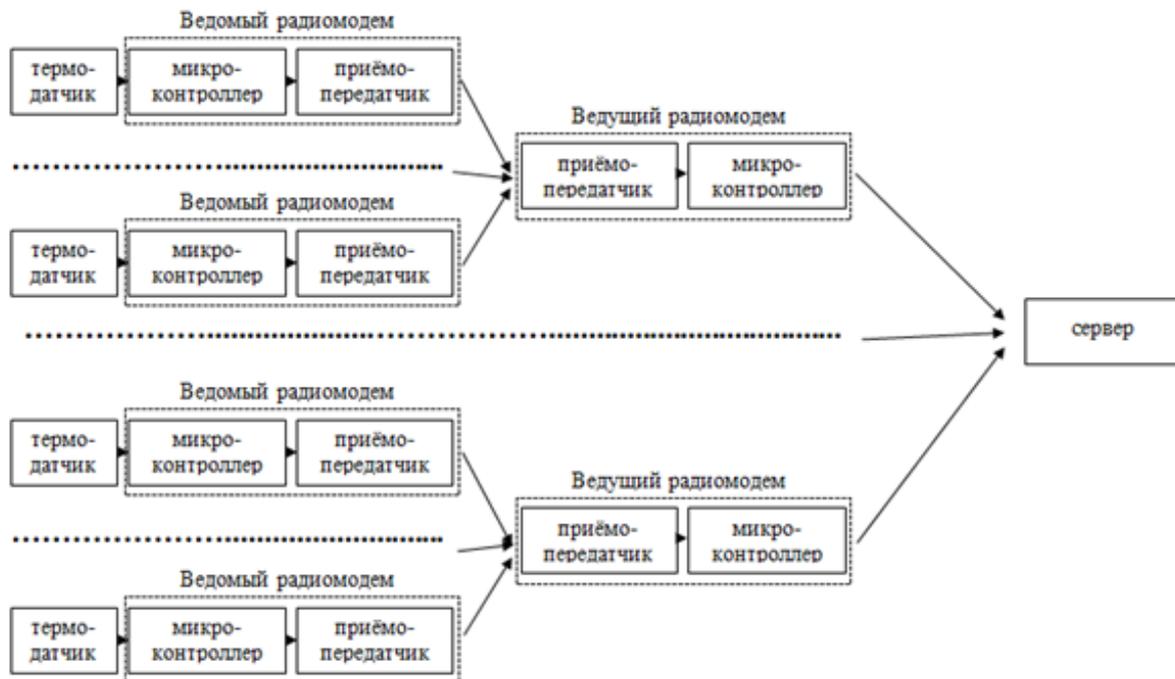


Рис. 1. Структурная схема системы учета тепла.

Сбор и передача данных осуществляется на базе следующих элементов:

- радиомодем, который считывает показания с датчиков и передаёт их по радиоканалу (далее – Ведомый);
- радиомодем, который принимает данные по радиоканалу и передаёт их серверу (далее – Ведущий);
- сервер, который устанавливает параметры обмена, принимает, хранит и обрабатывает данные.

Различие между «Ведущим» и «Ведомым» состоит только в программном обеспечении для микроконтроллеров. В остальном данные платы радиомодемов имеют схожую структуру.

К термодатчику были выдвинуты следующие требования: точность:  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ; низкий ток потребления; компактное исполнение; отсутствие дополнительного оборудования (АЦП уже встроен); отсутствие необходимости калибровки датчика; невысокая стоимость. Нами анализировались два типа термодатчиков, наиболее соответствующие этим требованиям: ADT7410 (Analog Devices) и DS18B20 (Dallas Semiconductor). Выбираем датчик DS18B20, который за счет использования интерфейса 1wire имеет всего 3 вывода, вместо 4 у ADT7410.

К микроконтроллеру предъявляются следующие требования: низкое энергопотребление; наличие спящего режима с поддержкой часов реального времени; наличие интерфейса UART; напряжение питания от 2.5 до 3.6 В; рабочая частота не менее 2 МГц.

Всеми этим требованиям удовлетворяют микроконтроллеры компании ST: STM32. Они обладают более низкой ценой и высокой мощностью по сравнению с микроконтроллерами других производителей. Также эти микроконтроллеры обладают удобным интерфейсом для программирования, требующим всего три вывода и программатор ST-LINK, который является достаточно дешёвым.

Лидерами в сфере разработки приёмопередатчиков любительских диапазонов на данный момент являются фирмы Texas Instruments, Analog Devices и Semtech International. Каждая из этих фирм выпускает довольно широкие линейки приёмопередатчиков разных частотных диапазонов. Для проектируемой системы сбора и передачи данных был выбран диапазон 868 МГц. Этот диапазон был сравнительно недавно разрешён для использования без лицензии, поэтому на данный момент не так сильно используется, как диапазон 433 МГц. Приёмопередатчики данного диапазона, ввиду отсутствия единого стандарта можно настроить на довольно низкое потребление (около 30мА), большую дальность (порядка километра в условиях прямой видимости). Ввиду низкочастотности диапазона он имеет ограничение в возможной скорости, но для реализации данного проекта большие скорости не требуются. Из рассмотренных приёмопередатчиков наиболее оптимальным соотношением динамического диапазона и потребляемой мощности обладает CC1120 фирмы Texas Instruments.

В данной системе все параметры работы задаются сервером, который последний передает Ведущему, тот в свою очередь отправляет параметры Ведомому. Основная задача Ведомого собрать температуры с датчика. Частота сбора задается Сервером. Основная задача Ведущего передавать Ведомому команды Сервера и выдавать Серверу принятые данные от Ведомого. Основная задача Сервера – осуществление управления и обработка данных.

Программа реализована на языке C++. То, что C++ объектно-ориентированный язык во многом облегчает разработку многозадачного приложения. Общая задача была разбита на мелкие подзадачи, также была выделена основная, которая выполнялась в первую очередь. Основная задача: осуществление сбора данных, реализуется в классе *MainWindow*.

Разработанная нами система экспериментально исследовалась в условиях эксплуатации в многоквартирном жилом доме. Испытания проводились на одном стояке однотрубной системы, который содержал в себе 7 отопительных приборов (чугунные радиаторы MC-140), включенных последовательно с помощью стальных труб (3/4 дюйма). 4 прибора размещались в комнатах жилых квартир, 3 в подъезде четырехэтажного дома, из них 4 – на прямой подаче, 3 на обратной подаче. Схема тепловой системы приведена на (рис. 2). Длина отрезков труб, количество звеньев и теплоемкости отопительных приборов приведены в (табл. 1). Трубы прямой и обратной подачи подключались к соответствующим магистралям общедомовой системы.

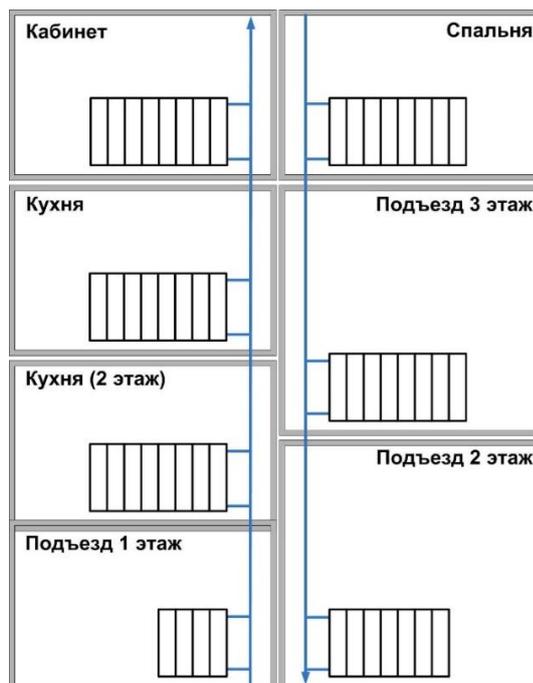


Рис. 2. Схема тепловой системы

Таблица 1.

Местоположение	Количество звеньев отопитель- ного прибора	Теплоемкость отопи- тельного прибора, Дж/°С	Длина труб,
Подъезд 1 этаж	4	37567	4
Кухня 2 этаж	8	75134	5
Кухня	8	75134	5
Кабинет	8	75134	2,1
Спальня	8	75134	2,1
Подъезд 2 этаж	7	65741	5,7
Подъезд 3 этаж	8	75134	5,7

В начале эксперимента тепловая система находилась в режиме эксплуатации. Все тепловые приборы были прогреты, помещения находились в обычном тепловом режиме. На отопительных приборах закреплялись терморадиомодули в составе термодатчика и ведомого радиомодема. В одном из помещений располагался сервер (персональный компьютер, к входу которого был подключен выход ведущего радиомодема). Ведущий радиомодем собирал данные со всех радиомодулей. Температура воздуха измерялась отдельными выносными датчиками. Значения температур по радиоканалу передавались на сервер и записывались в память по мере поступления.

В режиме эксплуатации, измерения температур производились 1 раз в час. Данные по температурам передавались на центральный сервер раз в сутки. В режим калибровки сервер переводился по команде оператора. Одновременно перекрывался вентиль подачи теплоносителя в стояк. Термодатчики передавали информацию о температурах остывающих радиаторов с интервалом 1 минута. Процесс калибровки занимал три часа. После ее завершения возобновлялась подача теплоносителя и тепловая система переводилась в режим эксплуатации. Затем все измеренные данные передавались на центральный сервер.

После обработки калибровочных данных были получены зависимости коэффициента теплоотдачи отопительного прибора от температурного напора (во время калибровки не опрашивался ведомый модуль в подъезде на 1 этаже). Графики зависимостей приведены на (рис. 3):

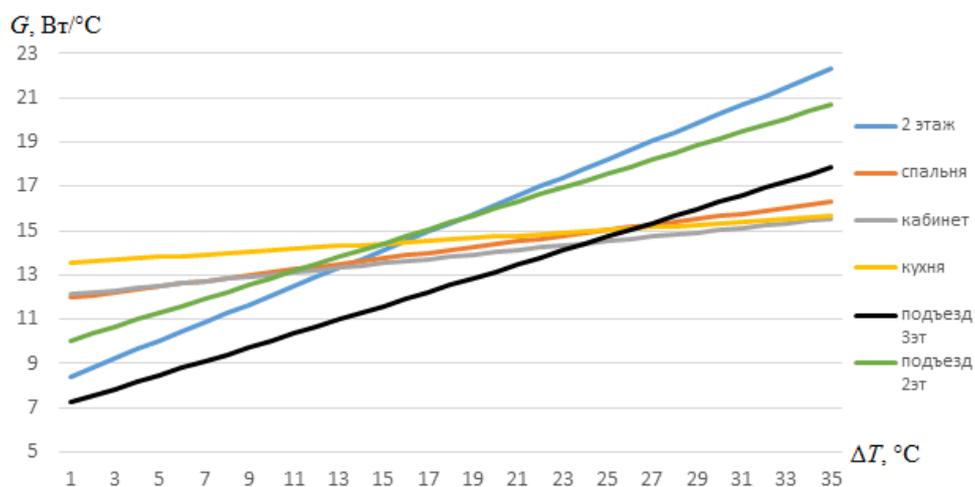


Рис. 3. Графики зависимости коэффициента теплоотдачи отопительного прибора от температурного напора

Из графиков видно, что у отопительных приборов одинакового типа, установленных в разных помещениях, значения коэффициентов теплоотдачи значительно разнятся. При этом зависимости для радиаторов в кабинете, кухне и спальне лежат близко друг к другу. Полученные результаты можно объяснить нахождением отопительных приборов в разных условиях.

В режиме эксплуатации также не работал ведомый модуль в подъезде на первом этаже (в дальнейших расчетах его не учитывали). С остальных модулей были получены данные за четверо суток. С использованием коэффициентов теплоотдачи и средних температур радиаторов, а также отдаваемой мощности стояков, посчитанная за данный период тепловая энергия составила 387182 Вт\*ч.

#### Выводы:

1. Проведенные исследования эффективности отопительных приборов позволили нам разработать структурную схему, выбрать ее элементы и разработать конструкцию термордиомодуля и программное обеспечение всей системы.
2. Тестовые испытания в жилом здании доказали работоспособность системы при ее настройке и эксплуатации.

Авторы выражают благодарность Абушкину Денису Валерьевичу за помощь в проведении экспериментов и обсуждении результатов.

#### Литература

1. Воронин С.М. Энергосбережение: учеб. пособие / С.М. Воронин, А.Э. Калинин. – Зерноград : ФГОУ ВПО АЧГАА, 2009. – 256 с.
2. Карпов В.Н. Поквартирный учет расхода тепла в системах отопления. Проблемы внедрения // – АВОК. – 2012. – №4. – С. 50-58.
3. Динамический метод измерения эффективности нагревательных приборов. / А.В. Пуговкин, С.В. Купреков, В.А. Медведев, Н.И. Муслимова, В.С. Степной // Приборы. - 2014, - № 7. – 10 с.
4. Действующая методика испытания отопительных приборов – требуется ли корректировка? / В.И. Сасин, Г.А. Бершидский, Т.Н. Прокопенко, Б.В. Швецов // Отопление и горячее водоснабжение. – 2007. – № 4. – С. 49-52.
5. Эквивалентные электрические схемы отопительных приборов / В.С. Степной, С.И. Абрамчук, А.М. Мукашев, А.В. Пуговкин // Доклады ТУСУР. – 2014. - №1(31). – С. 238-241.