

УДК 697.44.002.23

**А.М. МУКАШЕВ, С.И. АБРАМЧУК, А.В. ПУГОВКИН, А.В. БОЙЧЕНКО,  
С.В. КУПРЕКОВ, Д.В. АБУШКИН****АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС  
УЧЕТА ПОТРЕБЛЯЕМОЙ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ**

Рассмотрен метод учета потребляемой тепловой энергии с использованием уравнения Ньютона–Рихмана. Предложен способ нахождения коэффициента теплоотдачи, учитывающий индивидуальные особенности отопительных приборов. Спроектирована структурная схема и описан программный комплекс системы учета тепловой энергии. Произведен выбор элементов системы. Данная система была экспериментально исследована в условиях эксплуатации в многоквартирном жилом доме и полностью доказала свою работоспособность.

**Ключевые слова:** энергосбережение, учет тепловой энергии, коэффициент теплоотдачи, система.

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 из-за 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.), работающих 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.

© Мукашев А.М., Абрамчук С.И., Пуговкин А.В., Бойченко А.В., Купреков С.В., Абушкин Д.В., 2017

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

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

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.

Обычно коэффициент теплоотдачи 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, подсоединенных 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.

Сбор и передача данных осуществляется на базе следующих элементов:

– радиомодем, который считывает показания с датчиков и передает их по радиоканалу (далее – Водомый);

– радиомодем, который принимает данные по радиоканалу и передает их серверу (далее – Ведущий);

– сервер, который устанавливает параметры обмена, принимает, хранит и обрабатывает данные.

Различие между Ведущим и Водомым 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 (AnalogDevices) и DS18B20 (DallasSemiconductor). Выбран датчик DS18B20, который за счет использования интерфейса 1wige 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. Всем этим требованиям удовлетворяют микроконтроллеры компании ST: STM32. Они обладают более низкой ценой и высокой мощностью по сравнению с микроконтроллерами других производителей. Также эти микроконтроллеры имеют удобный интерфейс для программирования, требующий всего 3 вывода и программатор ST-LINK, который достаточно дешев.

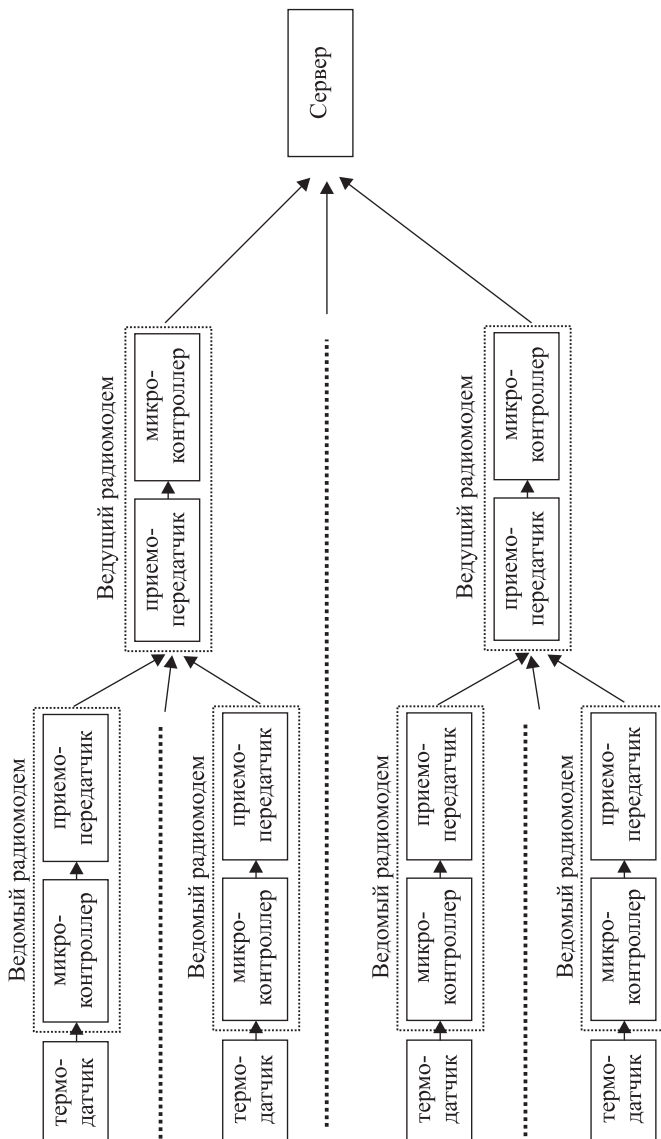


Рис. 1. Структурная схема системы учета тепла

Лидерами в сфере разработки приемопередатчиков любительских диапазонов на данный момент являются фирмы TexasInstruments, Analog-Devices и SemtechInternational. Каждая из них выпускает довольно широкие линейки приемопередатчиков разных частотных диапазонов. Для проектируемой системы сбора и передачи данных был выбран диапазон 868 МГц. Он сравнительно недавно разрешен для использования без лицензии, поэтому на данный момент не так часто используется, как диапазон 433 МГц. Приемопередатчики данного диапазона из-за отсутствия единого стандарта можно настроить на довольно низкое потребление (около 30 мА), большую дальность (порядка 1 км в условиях прямой видимости). Ввиду низкочастотности диапазона он имеет ограничение в возможной скорости, но для реализации данного проекта большие скорости не требуются. Из рассмотренных приемопередатчиков наиболее оптимальным соотношением динамического диапазона и потребляемой мощности обладает CC1120 фирмы TexasInstruments.

В данной системе все параметры работы задаются сервером, который последний передает Ведущему, тот в свою очередь отправляет Ведомому. Основная задача Ведомого собрать показания 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, 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 МС-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 показана на рис. 2, длина отрезков труб, количество звеньев и теплоемкости отопительных приборов приведены в таблице. Трубы прямой и обратной подачи подключались к магистралям общедомовой системы.

В начале эксперимента тепловая система была в режиме эксплуатации. Все тепловые приборы 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, ко 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 раз в час. Данные по температуре передавались на центральный сервер раз в сутки.

**Основные показатели тепловой системы**

Местоположение	Количество звеньев отопительного прибора	Теплоемкость отопительного прибора, Дж/°С	Длина труб, м
Подъезд, 1-й этаж	4	37 567	4
Кухня, 2-й этаж	8	75 134	5
Кухня	8	75 134	5
Кабинет	8	75 134	2,1
Спальня	8	75 134	2,1
Подъезд, 2-й этаж	7	65 741	5,7
Подъезд, 3-й этаж	8	75 134	5,7



Рис. 2. Схема тепловой системы

В режим калибровки сервер переводился по команде оператора. Одновременно перекрывался вентиль подачи теплоносителя в стойку. Термодатчики передавали информацию о температурах остывающих радиаторов с интервалом 1 мин. Процесс калибровки занимал 3 ч, затем возобновлялась подача теплоносителя, тепловая система переводилась в режим эксплуатации и 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-м этаже). Графики зависимостей приведены на рис. 3.

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,

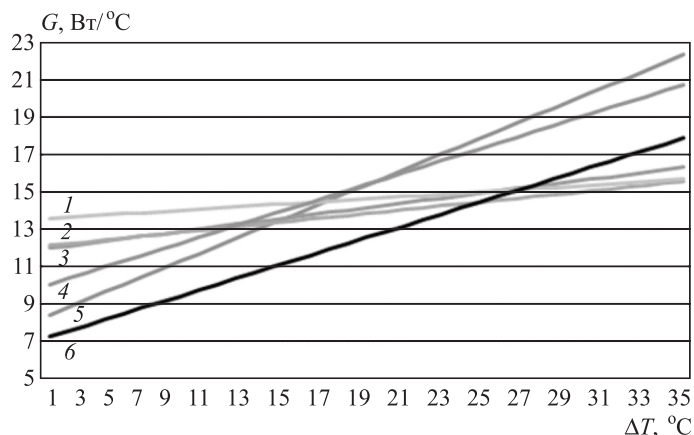


Рис. 3. Графики зависимости коэффициента теплоотдачи отопительного прибора от температурного напора  
 1 – кухня; 2 – кабинет; 3 – спальня; 4 – подъезд 3-го этажа; 5 – 2-й этаж; 6 – подъезд 2-го этажа

кухне и спальне лежат близко друг к другу. Полученные результаты можно объяснить нахождением отопительных приборов в разных условиях.

В режиме эксплуатации не работал ведомый модуль в подъезде на 1-м этаже (в дальнейших расчетах его не учитывали). С остальных модулей были получены данные за 4 сут. С использованием коэффициентов теплоотдачи и средних температур радиаторов, а также отдаваемой мощности стояков посчитанная за данный период тепловая энергия составила 387 182 Вт · ч.

На основании экспериментов была проведена сравнительная оценка затрат на потребление тепловой энергии тремя способами:

- по нормативу (69 руб. за 1 м<sup>2</sup> в месяц) – 500 руб. за 4 сут (56 м<sup>2</sup>);
- по общедомовому счетчику (43 руб. за 1 м<sup>2</sup> в месяц) – 313 руб.;
- по разработанному нами методу (тариф: 1507 руб. за 1 Гкал) – 247 руб.

**Выводы.** 1. Исследования эффективности отопительных приборов позволили разработать структурную схему, выбрать ее элементы и разработать конструкцию терморадиомодуля и программное обеспечение всей системы.

2. Тестовые испытания в жилом здании доказали работоспособность системы при ее настройке и эксплуатации.

3. Сравнительная оценка полученных результатов показывает завышенную плату по нормативу. Расчеты по общедомовому и квартирным (наша разработка) счетчикам близки друг к другу, но персональный учет потребляемой тепловой энергии для жильцов более предпочтителен.

4. Измерения позволили также оценить долю затрат на общедомовые нужды (ОДН), касающиеся подъездов жилого дома. Они составили 6 % от общих затрат на тепловую энергию. Расход тепла на ОДН по подвальному помещению не измерялся и оценен нами в 10 %.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

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

**Мукашев Алишер Мухтарович**, студ.; E-mail: ali\_2475@mail.ru

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники  
**Абрамчук Станислав Игоревич**, асп.; E-mail: zidaness@sibmail.com

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники  
**Пуговкин Алексей Викторович**, д-р техн. наук, проф.; E-mail: pugovkinav@ngs.ru

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники  
**Бойченко Андрей Викторович**, студ.; E-mail: Hero1994@mail.ru

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

**Купреков Степан Владимирович**, асп.; E-mail: kuprekov@mail.ru  
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники  
**Абушкин Денис Валерьевич**, инж.; E-mail: abushkin@ngs.ru  
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

Получено 03.02.17

**Mukashev Alisher Mukhtarovich**, Student; E-mail: ali\_2475@mail.ru  
Tomsk State University of System Controls and Radioelectronics, Russia  
**Abramchuk Stanislav Igorevich**, Post-graduate Student;  
E-mail: zidanes@sibmail.com  
Tomsk State University of System Controls and Radioelectronics, Russia  
**Pugovkin Alexey Viktorovich**, DSc, Professor; E-mail: pugovkinav@ngs.ru  
Tomsk State University of System Controls and Radioelectronics, Russia  
**Boychenko Andrey Viktorovich**, Student; E-mail: Hero1994@mail.ru  
Tomsk State University of System Controls and Radioelectronics, Russia  
**Kuprekov Stepan Vladimirovich**, Post-graduate Student;  
E-mail: kuprekov@mail.ru  
Tomsk State University of System Controls and Radioelectronics, Russia  
**Abushkin Denis Valeryevich**, Engineer; E-mail: abushkin@ngs.ru  
Tomsk State University of System Controls and Radioelectronics, Russia

## **HARDWARE AND SOFTWARE COMPLEX FOR CONSUMING HEAT ENERGY**

In this paper, the method of accounting using the Newton-Richman equation is considered. A method is proposed for determining the heat transfer coefficient taking into account the individual features of the heating devices. The structural scheme has been designed and the software package of the thermal energy accounting system has been described. Selection of system elements has been made. This system was experimentally investigated in the conditions of operation in a multi-apartment building and has fully proved its efficiency.

**Key words:** energy saving, heat energy accounting, heat transfer coefficient, system.

### REFERENCES

1. Voronin S.M., Kalinin A.E. Energoberezhenie: ucheb. posobie [Energy Saving: training manual]. Zernograd, 2009. 256 p. (in Russian)
2. Karpov V.N. Pokvartirnyy uchet rashhoda tepla v sistemakh otopeniya. Problemy vnedreniya [The every apartment keeping heat consumption in heating systems. Problems of implementation]. AVOK. 2012. No. 4. Pp. 50–58. (in Russian)
3. Pugovkin A.V., Kuprekov S.V., Medvedev V.A., Muslimova N.I., Stepnoy V.S. Dinamicheskiy metod izmereniya effektivnosti nagrevatel'nykh priborov [Dynamic method of measuring the efficiency of heating appliances]. Pribory [Devices]. 2014. No. 7. 10 p. (in Russian)
4. Sasin V.I., Bershidskiy G.A., Prokopenko T.N., Shvetsov B.V. Deystvuyushchaya metodika ispytaniya otopitel'nykh priborov – trebuetsya li korrektyrovka? [The current method of testing of heating appliances – whether the adjustment?]. Otoplenie i goryachee vodosnabzhenie [Heating and hot water supply]. 2007. No. 4. Pp. 49–52. (in Russian)
5. Stepnoy V.S., Abramchuk S.I., Mukashev A.M., Pugovkin A.V. Ekvivalentnye elektricheskie skhemy otopitel'nykh priborov [Equivalent electric circuit heaters]. Doklady TUSUR [Reports TUSUR]. 2014. No. 1(31). Pp. 238–241. (in Russian)