

Энергосбережение — одна из важнейших задач общества. Основными этапами энергоснабжения являются: производство энергии или ее генерация; распределение энергии по системам энергоснабжения, т.е. по системам передачи и системам распределения энергии; и наконец, непосредственное потребление энергии помещением [1].

Рынок тепла — один из самых больших монопродуктовых рынков в России. Отличительной характеристикой этого рынка является огромный потенциал возможного снижения издержек. Чтобы добиться результатов энергосбережения в одной из ключевых областей — теплоснабжении, необходимо уметь грамотно и оперативно производить учет тепловой энергии, потребляемой отопительным прибором.

Целью данной работы является повышение точности учета тепловой энергии при минимальных затратах.

Актуальность исследований заключается в том, что учет потребляемой тепловой энергии являются важнейшей составляющей энергосбережения и стимулирует конечных потребителей к экономии энергоресурсов.

Решение поставленной задачи можно разделить на несколько этапов: математическое моделирование тепловых процессов в отопительных приборах с учетом их индивидуальных особенностей [2]; разработка структурной схемы системы; выбор необходимых элементов системы для ее полноценной работы; разработка программного обеспечения.

Существует различные методы учета тепловой энергии. В данной работе рассмотрен классический метод и метод учета с использованием уравнения Ньютона-Рихмана [2].

Согласно классическому методу необходимо измерить расход теплоносителя на входе, то есть в подающем трубопроводе, а также температуру и давление на входе и выходе. Далее определяются плотности и энтальпии, являющиеся табличными функциями температур и давлений, а затем по формуле вычисляется величина потребленной тепловой энергии:

$$Q = G_1(h_1 - h_2) \quad (1)$$

где G_1 — масса теплоносителя, поступившего потребителю по подающему трубопроводу; h_1 и h_2 — энтальпии теплоносителя, соответственно, в подающем и обратном трубопроводах.

В случае малого перепада температур и малого расхода этот метод дает высокую погрешность (более 10%) и применяться для отдельных помещений не может. Кроме того, стоимость как самого оборудования, так и его эксплуатации очень высока.

В методе учета с использованием уравнения Ньютона-Рихмана измеряется разность средних температур поверхности отопительного прибора и воздуха помещения. При этом основной задачей является нахождение коэффициента теплоотдачи. Он находится экспериментально с учетом двух физических процессов теплообмена: конвекция и радиация.

$$P = G_{\text{ист}}(T_{\text{ист}} - T_1), \quad (2)$$

где P — тепловая мощность, отдаваемая источником; $G_{\text{ист}}$ — коэффициент теплоотдачи отопительного прибора; $T_{\text{ист}}$ — средняя температура поверхности отопительного прибора; T_1 — температура воздуха в помещении.

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

Разработан метод измерения коэффициента теплоотдачи. Суть его заключается в следующем:

В динамическом режиме (например: прекращение подачи тепловой энергии) из нестационарного уравнения теплового баланса получим

$$G_{\text{ист}} = \frac{dT_{\text{ист}}}{dt(T_{\text{ист}} - T_1)} C, \quad (3)$$

где C — теплоемкость отопительного прибора; $\frac{dT_{\text{ист}}}{dt}$ — 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 (3). Теплоемкость батареи вычисляется путем суммирования теплоемкости корпуса металлического прибора и воды. При этом используются удельные теплоемкости воды, чугуна и алюминия. Данный метод повышает точность измерений тепловой энергии, отдаваемой отопительным прибором с учетом его индивидуальных особенностей. На рисунке 1 приведена структурная схема системы учета тепловой энергии:

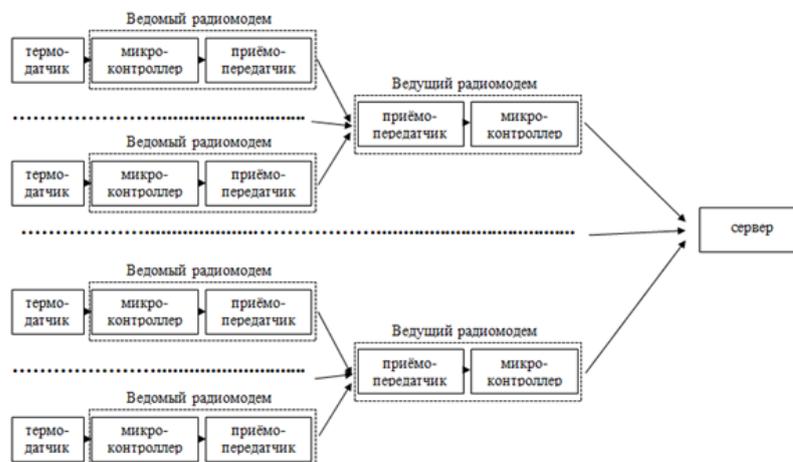


Рисунок 1 – структурная схема системы учета тепла

Сбор и передача данных будет осуществляться 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; невысокая стоимость. Под эти требования подходят два термодатчика: ADT7410 (Analog Devices) и DS18B20 (Dallas Semiconductor). Наиболее существенным отличием этих термодатчиков является их интерфейс связи. За счёт использования интерфейса 1wire датчик DS18B20 имеет всего 3 вывода, вместо 4 у ADT7410.

К микроконтроллеру выдвинуты 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 обладают удобным интерфейсом для программирования, требующим всего три вывода и программатор ST-LINK, который является достаточно дешёвым. Исходя из выдвинутых требований, основным выбором микроконтроллера делался из линейки STM32L, обладающей лучшими параметрами в области энергопотребления. Наилучшими характеристиками обладает микроконтроллер STM32L432.

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 соединённому с ним радиомодему, тот в свою очередь отправляет настройки другому. Основная задача Ведомого собрать температуры с датчика. Частота сбора задается Сервером. Сбор осуществляется в автоматическом режиме, согласно переданным Сервером настройкам для Ведомого. Автоматический режим подразумевает отправку Ведомым данных температуры самостоятельно через заданный интервал времени. Основная задача Ведущего передавать Ведомому команды и выдавать Серверу принятые данные. К Ведущему может быть подключено несколько Ведомых, также как к Серверу несколько Ведущих. 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 в автоматическом режиме, реализовывается в классе MainWindow, это основной класс. Для имплементации остальных функций, были созданы еще два класса database и calculation. Как ясно из названия, класс database осуществляет соединение с базой данных и основные SQL запросы, для записи и выборки данных. Класс calculation выполняет обработку информации, заключающаяся в расчете из полученных температур коэффициента теплоотдачи и тепловой мощности.

В результате выполненной работы была построена описанная выше система. Удалось достигнуть предъявляемых низких требований по потреблению, которые сошлись с расчётными и позволяют Ведомому проработать на одной батарее до двух лет. Дальности связи между радиомодемами составила до 50 метров, что позволяет подобной сети покрыть достаточно большой участок жилого помещения. Программный комплекс включает в себя программу для сбора данных с устройства сбора и передачи данных, программу расчета коэффициента теплоотдачи и тепловой мощности, а также базу данных. Он полностью удовлетворяет функциональным характеристикам, т.е. централизован и имеет трехуровневую структуру. Планируется доработка и расширение системы для дальнейшего ее использования в сфере жилищно-коммунального хозяйства.

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Поквартирный и покомнатный учет потребляемой тепловой энергии актуален поскольку стимулирует конечных потребителей к экономии энергоресурсов. В этом также заинтересованы федеральные и региональные органы власти, поскольку экономия энергоресурсов позволяет значительно сократить расходы на капитальное строительство и эксплуатацию предприятий генерирующих тепловую энергию.

2. Нами предложен и реализуется способы измерения потребляемой тепловой энергии, использующий динамические режимы работы отопительных приборов. Они позволяют измерять тепловую энергию, отдаваемую каждым отдельным отопительным прибором с учетом их индивидуальных особенностей.

3. Аппаратная реализация данной системы представляет собой два температурных датчика (средние температуры отопительного прибора и воздуха помещений), радиомодем для беспроводной передачи информации на устройство сбора и передачи данных (УСПД), канал связи УСПД с центральным сервером и соответствующее программное обеспечение.

4. Список литературы

1. Воронин С.М. Энергосбережение: учеб. пособие / С.М. Воронин, А.Э. Калинин. – Зерноград : ФГОУ ВПО АЧГАА, 2009. – 256 с.

2. Динамический метод измерения эффективности нагревательных приборов /А.В. Пуговкин, С.В. Купреков, В.А. Медведев, Н.И. Муслимова, В.С. Степной // Приборы. – 2014. – № 7. – С. 10-15.