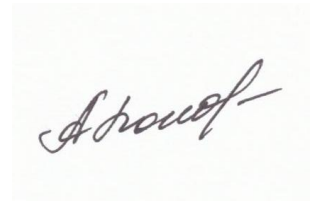


На правах рукописи

A handwritten signature in dark ink, appearing to read 'А. Попов', is centered within a light gray rectangular box.

ПОПОВ Алексей Анатольевич

**МЕТОД ИНДИВИДУАЛЬНОГО ПРИБОРНОГО КОНТРОЛЯ
ТЕПЛОПОТРЕБЛЕНИЯ В МНОГОКВАРТИРНЫХ ДОМАХ**

Специальность: 05.11.13 – Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Томск – 2013

Работа выполнена в Институте неразрушающего контроля Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

Научный руководитель: **Вавилов Владимир Платонович**, доктор технических наук, профессор ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», заведующий лабораторией тепловых методов контроля, заслуженный деятель науки РФ

Официальные оппоненты: **Захаренко Владимир Андреевич**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технология электронной аппаратуры» ФГБОУ ВПО «Омский государственный технический университет»

Трофимов Константин Дмитриевич, кандидат технических наук, профессор кафедры «Теплогазоснабжение» ФГБОУ ВПО «Томский государственный архитектурно-строительный университет»,

Ведущая организация: Открытое акционерное общество «Научно-производственное предприятие «Эталон» (ОАО «НПП «Эталон»), г. Омск

Защита состоится «19» ноября 2013 г. в 17.00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.269.09 при ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» по адресу: 634028 г. Томск, ул. Савиных, дом 7, ауд. 215 (актовый зал).

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» по адресу: 634034 г. Томск, ул. Белинского 55.

Автореферат разослан «15» октября 2013г.

Ученый секретарь
диссертационного совета, к.т.н., доцент


_____ Е.А. Васендина

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Энергетика является одной из самых мощных отраслей промышленности любой индустриально развитой страны. От правильной организации работы энергетического комплекса зависит в целом жизнедеятельность государства. Обеспечение бесперебойного и качественного энергоснабжения в масштабах страны относится к наиболее сложным задачам.

Проблема энергосбережения в настоящее время остро стоит во всех без исключения отраслях экономики России. Это связано в первую очередь с тем, что подавляющее большинство отраслей экономики не могут обойтись без газа, электрической и тепловой энергии.

Одним из основных потребителей тепловой энергии является жилищно-коммунальный сектор. Сегодня уже ни у кого не вызывает сомнений тот факт, что реформирование ЖКХ России необходимо, и осуществляться оно должно через комплекс мероприятий по энергосбережению. Система дотаций на теплоснабжение, которая существовала ранее, не требовала какой-либо экономии со стороны конечного пользователя. Однако дальнейшее расточительство энергоресурсов приведет ЖКХ страны к краху и станет угрозой для социальной стабильности в обществе, поэтому проблема снижения теплопотребления является как технической, так и политической. На решение этой проблемы, в частности, направлены федеральные целевые программы «Энергосбережение России» и «Топливо и энергия».

Жилищный сектор городов в основном составляют многоквартирные дома, подключенные к системе центрального энергоснабжения. Как правило, в домах используются четыре вида энергоресурсов: газ, горячая вода, электричество и тепло.

В настоящее время ведется реформа ЖКХ, причем один из ее пунктов состоит в прекращении поступления дотаций на оплату энергопотребления со стороны муниципалитетов. Таким образом, оплата всего энергопотребления квартиры переходит на собственника жилья. В связи с этим, встает задача организации индивидуального учета энергопотребления в многоквартирных домах.

В настоящее время учет газа, воды и электричества осуществляется по показаниям счетчиков, установленных в квартирах, в то же время не полностью решена задача контроля индивидуального теплопотребления. Существующие решения можно классифицировать по двум укрупненным группам: расчетные методы и методы приборного контроля. Каждый из этих методов имеет свои достоинства и недостатки. Расчетные методы не требуют каких-либо вложений, но дают лишь ориентировочное (зачастую завышенное) значение индивидуального теплопотребления. Контроль с использованием измерительных приборов, как правило, реализуется путем организации общедомового узла учета. Это решает задачу определения реального значения общедомового теплопотребления, но не позволяет определить индивидуальное теплопотребление. При определенной (горизонтальной) разводке системы отопления, возможна установка квартирных теплосчетчиков, но это

экономически неэффективно и приводит к необходимости создания отдельного механизма распределения общих затрат (отопление мест общего пользования).

В соответствии со ст. 13 Федерального закона от 23.11.2009 №261-ФЗ «Об энергосбережении», все помещения, в том числе и квартиры в многоквартирных домах, должны быть оборудованы приборами учета электричества, газа, воды и тепла.

С учетом вышесказанного, **АКТУАЛЬНОСТЬ ИССЛЕДОВАНИЯ** обусловлена отсутствием общего подхода к контролю индивидуального теплоснабжения, применимого для многоквартирных домов с вертикальной и горизонтальной разводкой системы отопления.

ОБЪЕКТ И ПРЕДМЕТ ИССЛЕДОВАНИЯ. Объектом исследования является разработка методической и экспериментальной базы контроля индивидуального теплоснабжения в системах отопления многоквартирных домов. В более узком смысле, предмет исследования – анализ влияния коэффициента теплоотдачи отопительных приборов на расчетное значение индивидуального теплоснабжения.

ЦЕЛЮ РАБОТЫ является разработка метода и аппаратуры контроля индивидуального теплоснабжения квартирами в многоквартирных домах с произвольной конфигурацией системы отопления.

Для достижения этой цели необходимо решить следующие **ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ:**

- провести анализ достоинств и недостатков существующих методов контроля теплоснабжения, используемых в многоквартирных домах; проанализировать причины отсутствия единого подхода к организации индивидуального приборного контроля;
- рассмотреть влияние типа отопительного прибора на расчетное значение индивидуального теплоснабжения в системе распределения общедомового теплоснабжения; дополнить расчетные уравнения индивидуального теплоснабжения коэффициентом относительной тепловой эффективности отопительного прибора;
- рассчитать погрешность измерения индивидуального теплоснабжения;
- разработать алгоритм работы программно-аппаратного комплекса автоматизированной системы учета и распределения энергоресурсов;
- провести экспериментальное исследование предложенного метода.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА ИССЛЕДОВАНИЯ

- Впервые получено расчетное уравнение индивидуального теплоснабжения, учитывающее коэффициент относительной тепловой эффективности отопительного прибора.
- Разработана математическая модель и методика контроля индивидуального теплоснабжения в многоквартирных жилых домах.
- Разработан алгоритм работы системы контроля индивидуального

теплопотребления, позволяющий автоматизировать расчеты индивидуального теплопотребления с абонентами в многоквартирных домах с произвольной конфигурацией системы отопления.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ.

- Разработана и внедрена методика и аппаратура контроля индивидуального теплопотребления в многоквартирных жилых домах с произвольной конфигурацией системы отопления, в результате чего обоснован дополнительный экономический эффект, возникающий за счет реализации потенциала энергосбережения в зданиях путем сокращения сброса тепловой энергии в атмосферу.

НА ЗАЩИТУ ВЫНОСЯТСЯ:

- метод контроля индивидуального теплопотребления в многоквартирных домах;
- математическая модель системы контроля индивидуального теплопотребления с учетом типа используемого отопительного прибора;
- алгоритм работы программно-аппаратного комплекса системы контроля индивидуального теплопотребления;
- результаты экспериментальной работы вышеуказанной системы.

Основные результаты работы используются в:

- экспериментальной системе АСКИПТЭ, установленной ООО НПП «СИБЭЛЕКТРО» в многоквартирном жилом доме (г. Омск, ул. Иркутская, № 1).

ЛИЧНЫЙ ВКЛАД.

Автором лично определены задачи, решаемые в работе; собраны и обобщены в виде аналитического обзора библиографические сведения по теме диссертации; разработана математическая модель системы контроля индивидуального теплопотребления с учетом типа отопительного прибора; разработан алгоритм работы системы контроля индивидуального теплопотребления; проведен сбор и анализ экспериментальных данных; осуществлено компьютерное оформление всего графического материала.

Совместно с научным руководителем и консультантом работы автором осуществлен выбор направления исследований, сформулирована цель работы, подготовлен и проведен экспериментальное исследование разработанного метода на жилом многоквартирном доме.

АПРОБАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ. Основные научные положения, выводы и рекомендации, изложенные в работе, прошли апробацию на Седьмом учебно-методическом семинаре-совещании «Практическое применение средств передачи, воспроизведения и измерения единиц температуры, теплопроводности, тепловых потоков, линейно-угловых размеров микронного диапазона, волнового сопротивления СВЧ-диапазона. Фильтры на ПАВ» (г.

Омск, 2008 г.), Восьмом учебно-методическом семинаре-совещании «Эталонные и рабочие средства измерения в области теплофизики. Энергоаудит» (г. Омск, 2009 г.), международном конгрессе «Геосибирь-2009» (г. Новосибирск, 2009 г.), а также на международной научно-практической конференции «Энергосбережение в теплоэлектроэнергетике и теплоэлектротехнологиях» (г. Омск, 2010 г.).

ПУБЛИКАЦИИ: Основные результаты диссертационных исследований получены автором в период с 2006 по 2013 гг. По теме диссертационной работы опубликовано 8 научных статей, из них 5 в изданиях, рекомендованных ВАК. Результаты исследований докладывались на 5-ти конференциях и конгрессах, в том числе 2-х международных.

СТРУКТУРА И ОБЪЕМ РАБОТЫ. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и библиографического списка. Полный объем диссертации составляет 156 страниц, из них 136 страниц основного текста, 10 страниц приложений, 10 страниц библиографического списка, 25 рисунков и 13 таблиц. Структура диссертационной работы обусловлена основной целью и порядком решения поставленных в ней задач.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы основные цели исследований, приведены основные положения, выносимые на защиту, научная и практическая ценность работы.

В первой главе рассмотрена проблематика энергосбережения в жилищно-коммунальном секторе. Описан многоквартирный сегмент жилья, для которого в настоящее время не в полной мере реализуются мероприятия по энергосбережению и повышению энергетической эффективности. Показаны решения поставленной научно-технической задачи путем организации учета и контроля теплопотребления в многоквартирных домах, а также разработки и последующей реализации мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности.

В обзорной части диссертации приведены примеры, характеризующие существующие тенденции контроля расхода тепловой энергии, которые можно разделить на три группы.

- 1) Измерение теплопотребления в отдельных квартирах. Достоинством данного способа является его точность, недостаток - высокая стоимость, узкая сфера применения (только дома с горизонтальной разводкой системы отопления), а также отсутствие учета затрат тепла на общедомовые нужды и потери на внутридомовых магистралях.
- 2) Установка распределителей тепловой энергии. При достаточно низкой стоимости, их применение плохо проработано методически. К прочим недостаткам стоит также отнести отсутствие экспериментальных данных по определению коэффициентов теплоотдачи, что ставит под сомнение возможность их применения на территории Российской Федерации.
- 3) Создание глобальной измерительной системы, позволяющей измерять

расход теплоты на каждом вводе системы отопления в каждой квартире. Основными недостатками такой системы является ее техническая сложность и высокая стоимость внедрения.

Отмечено, что практически отсутствуют варианты решения задачи контроля и учета теплopotребления в домах с вертикальной разводкой систем отопления, используемой в большей части современного жилого сектора. Показана необходимость разработки универсального метода контроля индивидуального теплopotребления.

Во второй главе диссертационной работы формулируется общий подход к решению задачи контроля индивидуального теплopotребления в многоквартирных домах. Показано, что определенным выходом из сложившейся ситуации, описанной в первой главе, является создание метода контроля, основанного на уравнении теплового баланса здания. Приведены требования к системам контроля, которые актуальны в жилищно-коммунальном секторе.

В основу метода предлагается положить известное уравнение конвективной теплоотдачи (закон Ньютона-Рихмана):

$$Q_{\text{дом}} = \int \alpha_i \cdot S_i \cdot (T_{p.i} - T_{cp.i}) dt; \quad (1)$$

где $Q_{\text{дом}}$ – количество тепла, потребленное домом;
 α_i – коэффициент теплоотдачи i -го отопительного прибора;
 S_i – площадь поверхности теплоотдачи i -го отопительного прибора;
 $T_{p.i}$ – температура стенки i -го отопительного прибора;
 $T_{cp.i}$ – температура воздуха рядом с i -м отопительным прибором.

При замене интеграла суммой формула принимает очевидный вид:

$$Q_{\text{дом}} = \Delta t \cdot \sum \alpha_i \cdot S_i \cdot (T_{p.i} - T_{cp.i}), \quad (2)$$

где Δt – время теплообмена.

Фактически, формула (2) выражает идею контроля индивидуального теплopotребления, реализованную в настоящем исследовании. Несмотря на очевидную простоту, ее применение в системе контроля индивидуального теплopotребления требует учета специфических особенностей, связанных с вычислением значения коэффициента теплопередачи от теплоносителя к обогреваемым помещениям, что зависит от ряда параметров.

Отмечено, что различия в количестве потребляемой помещением тепловой энергии в основном определяются площадью теплоотдающей поверхности, типом отопительного прибора и разностью температур между батареей и воздухом помещения. Усредненный суммарный коэффициент теплоотдачи α характеризует всю совокупность отопительных приборов, и может быть заменен средним коэффициентом α_{cp} .

Исходя из равенства теплового баланса, средний коэффициент теплосъема α_{cp} вычисляется как:

$$\alpha_{cp} = \frac{Q_{дом}}{t \cdot \sum_{i=1}^n S_i \cdot \Delta T_i}, \quad (3)$$

где ΔT_i – перепад температуры между i -м отопительным прибором и окружающей средой.

Формула (2) при этом принимает вид:

$$Q_{дом} = \alpha_{cp} \cdot \Delta t \cdot \sum S_i \cdot (T_{p.i} - T_{cp.i}). \quad (4)$$

Зная значение среднего коэффициента теплосъема, можно определить количество тепловой энергии, потребленной n -м потребителем:

$$Q_n = \alpha_{cp} \cdot \Delta t \cdot \sum_{j=1}^m S_j \cdot \Delta T_j. \quad (5)$$

В работе показано, что на процесс теплоотдачи в квартире существенное влияние оказывает тип используемого отопительного прибора. Тип отопительного прибора может быть учтен при введении корректирующего коэффициента.

Для целей получения сопоставимых данных, вместо номинальной мощности отопительного прибора $Q_{н.у.}$ целесообразно использовать величину $q_{н.у.}$ – номинальную плотность теплового потока. Значение номинальной плотности теплового потока i -го отопительного прибора будет равно:

$$q_{н.у.i} = \frac{Q_{н.у.i}}{S_{секц.i}}, \quad (6)$$

где $q_{н.у.i}$ – номинальная плотность теплового потока i -го отопительного прибора;

$Q_{н.у.i}$ – номинальная мощность одной секции i -го отопительного прибора;

$S_{секц.i}$ – площадь одной секции i -го отопительного прибора.

Если значение номинального теплового потока одного отопительного прибора принять за базовое, то можно оценить уровень дифференциации тепловых потоков других отопительных приборов с помощью безразмерного коэффициента β .

Целью введения этого коэффициента является корректировка величины индивидуального теплопотребления в зависимости от типа отопительных приборов, установленных у локальных потребителей. Для обозначения данного коэффициента будет использоваться предложенный в работе термин «коэффициент относительной тепловой эффективности отопительного прибора». Численно он показывает уровень дифференциации эффективности исследуемого и базового отопительного прибора. Базовым отопительным прибором может быть любое устройство, наилучшим образом соответствующее составу отопительных приборов в доме: с максимальной, минимальной или средней удельной теплоотдачей. Оптимально, с точки зрения практической реализации, выбрать такой тип радиатора, который установлен в данном доме в наибольшем количестве. Уравнение вычисления коэффициента тепловой эффективности будет выглядеть следующим образом:

$$\beta_j = \frac{q_{н.у.j}}{q_{н.у.баз.}} = \frac{Q_{н.у.j}}{F_{н.у.j}} \cdot \frac{F_{н.у.баз.}}{Q_{н.у.баз.}} = \frac{\alpha_{н.у.j} F_{н.у.j} \Delta T F_{н.у.баз.}}{\alpha_{н.у.баз.} F_{н.у.баз.} \Delta T F_{н.у.j}} = \frac{\alpha_{н.у.j}}{\alpha_{н.у.баз.}}, \quad (7)$$

где: β_j – безразмерный коэффициент тепловой эффективности j -го отопительного прибора, установленного у локального потребителя тепла.

$q_{уд.баз.}$ – удельный номинальный тепловой поток отопительного прибора, выбранного в качестве базового;

$\alpha_{н.у.j}$ – номинальный коэффициент теплоотдачи j -го отопительного прибора;

$\alpha_{н.у.баз.}$ – номинальный коэффициент теплоотдачи отопительного прибора, выбранного в качестве базового.

Таким образом, данный безразмерный коэффициент показывает уровень дифференциации номинального коэффициента теплоотдачи исследуемого отопительного прибора относительно базового.

С введением β математическая модель приобретает вид:

$$\begin{cases} Q_{дом} = \int_{\tau_0}^{\tau} G (h_1 - h_2) d\tau; \\ Q_{дом} = \Delta\tau \cdot \sum_1^n \alpha_i \cdot \beta_i \cdot F_i \cdot (T_{нов.i} - T_{возд.i}); \\ Q_n = \alpha_{cp} \cdot \Delta\tau \cdot \sum_{j=1}^m \beta_i \cdot S_j \cdot \Delta T_j. \end{cases} \quad (8)$$

Анализируя предложенный выше подход, можно сделать вывод, что предлагаемый метод контроля индивидуального теплопотребления позволяет создавать системы контроля любых энергоресурсов (воды, электричества, тепловой энергии, газа) на единой методологической основе. Данный метод дает возможность контролировать расход всей энергии, потребленной многоквартирным домом, включая отопление мест общего пользования, подвалов, чердаков, а также потери тепла в доме. Метод может быть использован при любой конфигурации системы разводки.

В третьей главе рассмотрен вариант технической реализации метода.

Проведен анализ существующих интерфейсов и протоколов передачи данных. Показано, что оптимальным способом реализации предлагаемого метода представляется интерфейс однопроводной сети MicroLan, разработанной фирмой Dallas Semiconductor. Сеть на основе данного интерфейса обладает практически неограниченным адресным пространством и допускает работу на больших расстояниях без использования дополнительных повторителей или регенераторов сигналов.

Описана конструкция автоматизированной системы контроля индивидуального теплопотребления на базе технологии MicroLan. В основе системы лежат термометры, устанавливаемые на каждом отопительном приборе и использующие стандартный компонент фирмы Dallas Semiconductor – цифровой термометр DS 18S20 с погрешностью измерения $\pm 0,5$ °C в диапазоне температур от 0 до плюс 85 °C. Для определения разности температур на уровне пола каждого

помещения однотипно устанавливаются аналогичные термометры (DS 18S20), которые предназначены для измерения температуры воздуха.

Информация от температурных датчиков передается в общий контроллер через квартирные приборы. Поскольку современный жилой многоквартирный дом представляет собой, как правило, достаточно большое здание, нецелесообразно проектировать систему учета без структурирования по территориальным уровням. Оптимальным территориальным признаком для современных жилых многоквартирных домов являются подъезды. Путем объединения все квартирных приборов одного подъезда в одну структурную единицу можно решить не только задачу структурирования сети, но и оптимизации управления. В каждом подъезде к специализированному контроллеру подключается вся совокупность квартирных приборов. В качестве такого контроллера может быть использован практически любой промышленный контроллер. В ходе анализа существующей номенклатуры промышленных контроллеров было принято решение об использовании контроллера ICP 7188.

Разработанная общая структурная схема системы контроля может быть представлена в виде, изображенном на рисунке 1.

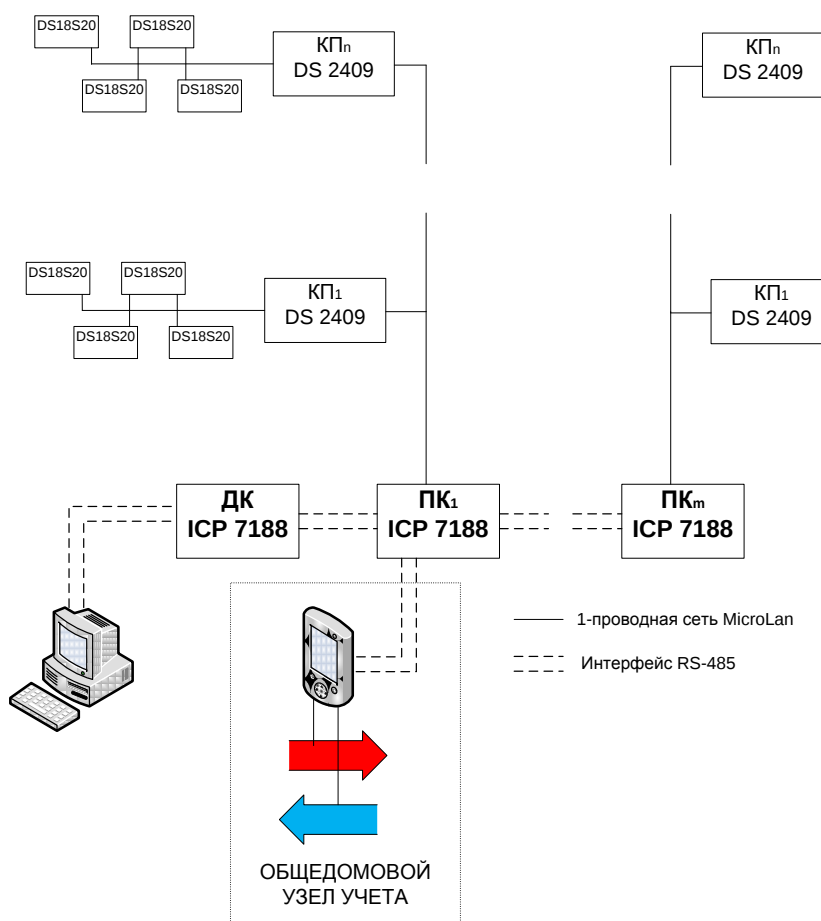


Рисунок 1. Структура системы контроля теплопотребления в многоквартирном доме.

Разработана методика распределения общедомового теплопотребления для многоквартирного дома, реализация, которой основана на использовании уравнения энергетического баланса жилого дома в следующем виде:

$$Q_d = Q_k + Q_o, \quad (9)$$

где Q_d – потребление тепла, измеренного на вводе дома;
 Q_k – потребление тепла в квартирах;
 Q_o – потребление тепла на общедомовые нужды.

В соответствии с принципами равенства для современного демократического общества, расходы на общедомовые нужды необходимо распределять пропорционально между жильцами дома независимо от индивидуального потребления, в то время как оплата технически обоснованных внутридомовых потерь должна начисляться пропорционально индивидуальному теплоснабжению.

В целях повышения уровня защищенности системы от актов вандализма предлагается исключить из нее термометры, установленные в подъездах. В этом случае все расходы на потери тепла в доме и отопление мест общего пользования будут распределены между всеми жителями пропорционально их индивидуальному теплоснабжению.

В результате, уравнение теплового баланса многоквартирного дома будет представлено в следующем виде:

$$Q_d = \sum Q_{kv}; \quad (10)$$

где Q_d – количество тепловой энергии на отопление, использованное всем домом по показанию общедомового теплосчетчика;

Q_{kv} – количество тепловой энергии, подлежащее к оплате отдельной квартирой.

В случае выхода из строя датчиков температуры, система контроля автоматически производит расчеты с использованием внутрисистемного норматива, для чего необходимо задавать нормативную разность температур.

В качестве оптимального варианта предлагается использовать разницу между максимальной температурой отопительных приборов, расположенных в конкретном подъезде, и средней температурой воздуха в отапливаемых помещениях. В качестве методологической основы для выбора данного соотношения была использована идея максимального вероятного значения величины потребленной тепловой энергии, изложенная в «Правилах предоставления коммунальных услуг гражданам».

Действительно, если в подъезде существует один отопительный прибор, нагретый до определенной температуры (максимальной в данном подъезде), то теоретически другой отопительный прибор может быть также нагрет до этой же температуры. С другой стороны, отопительный прибор, нагретый до максимальной температуры, интенсивно нагревает воздух в помещении, в котором находится. В этом случае наиболее корректно представляется использование средней температуры воздуха в отапливаемых помещениях этого подъезда. С точки зрения нормального распределения, вероятность нахождения температуры отапливаемых помещений в диапазоне максимальной температуры приблизительно равна вероятности нахождения в зоне минимальной температуры. Вероятность их появления много меньше вероятности нагрева неизвестного помещения до какой-то средней температуры.

Таким образом, в случае отсутствия данных о температурах в части квартир, система автоматически сможет рассчитать некоторое нормативное значение, используя при этом реальные данные о температурах в других квартирах этого дома. Данный подход позволяет снизить вероятность перераспределения теплоснабжения квартир, находящихся в нормативном учете, за счет квартир, в которых ведется реальный учет.

Предложен алгоритм работы системы контроля индивидуального теплоснабжения в виде, представленном на рисунке 2.

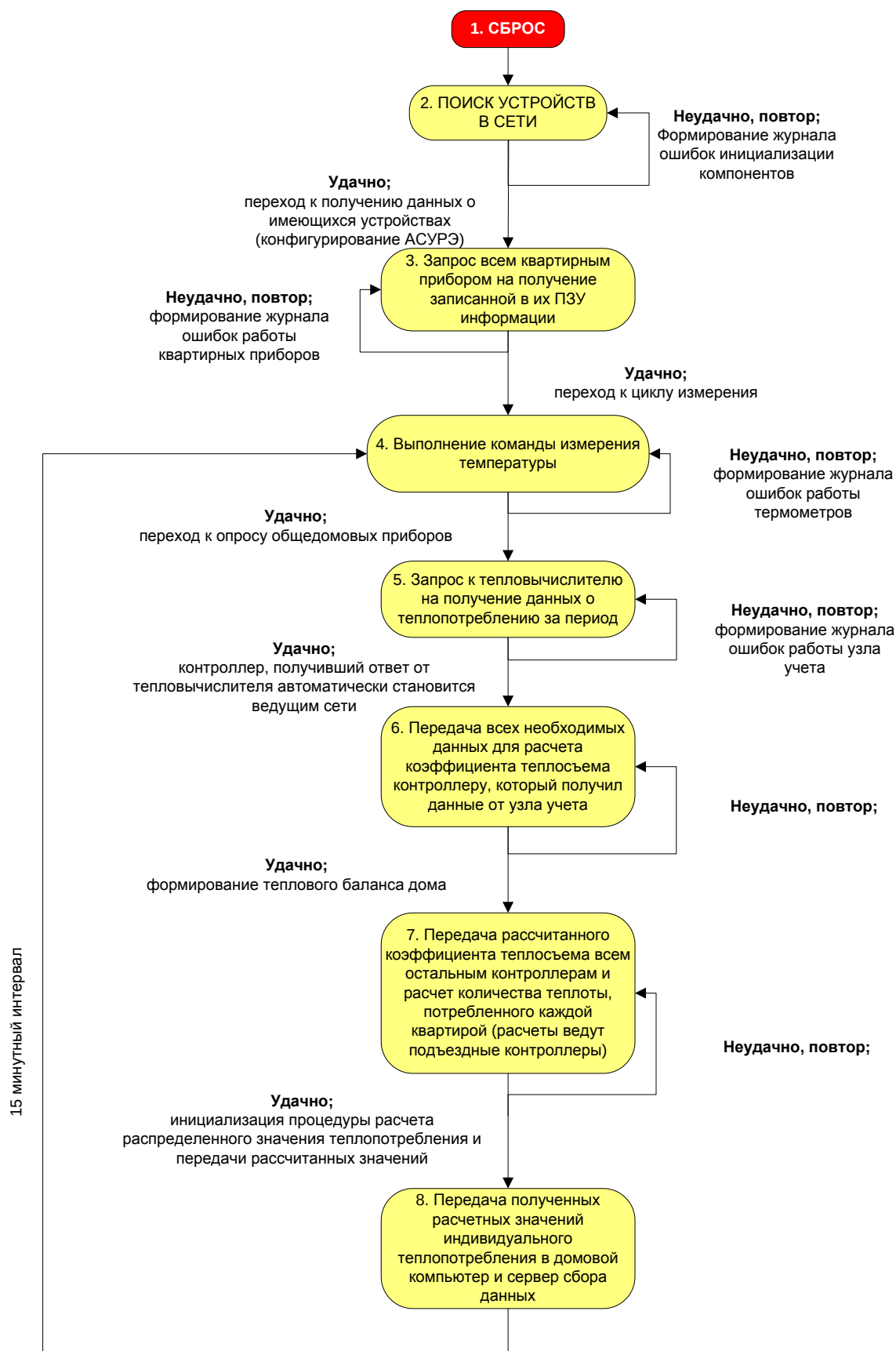


Рисунок 2. Алгоритм работы системы контроля индивидуального теплосъема.

Алгоритм работы предлагаемой системы контроля ориентирован на использование стандартных процедур и функций интерфейса MicroLan. Данное решение было принято с целью минимизации временных затрат на разработку и

отладку собственных процедур и функций. Кроме того, данный подход позволяет разработать стандартный алгоритм работы системы контроля без учета ее конфигурации.

Работу системы контроля можно представить в виде циклически выполняемых операций и разбить на восемь этапов.

1. Первый этап – «Сигнал сброса». Все компоненты системы, вне зависимости от их назначения, переходят в стартовую позицию. Данная процедура выполняется только после первого включения системы или после её аварийного перезапуска. Она переводит все компоненты системы в режим ожидания запроса.
2. Второй этап – «Поиск устройств в сети» – также происходит однократно, после импульса сброса. Эти две команды являются характерными для сетей MicroLan и позволяют конфигурировать систему на этапе ее инициализации.
2. Третий этап завершает инициализацию системы и формирование блока информации об устройствах, установленных в подъезде. На данном этапе контроллер опрашивает все квартирные приборы о конфигурации системы. В ответ на запрос каждый квартирный прибор передает подъездному контроллеру информацию о системе отопления в квартире и расположение термометров. В результате выполнения этой команды, контроллер получает следующие данные: а) площадь отопительных приборов, установленных в квартирах; б) типы отопительных приборов; в) места расположения термометров. Таким образом, система полностью распознаёт свою конфигурацию и переходит в рабочий режим.
3. На четвертом этапе начинается циклическая процедура контроля индивидуального теплосъема. Данный цикл начинается с передачи команды измерения температуры на все термометры, установленные в квартирах подъезда. Через определенный интервал времени подъездный контроллер выдает команду на передачу ему всех измеренных значений и заносит их в свою память.
4. После сбора сведений о температуре в подъезде подъездные контроллеры выдают команду на получение данных от общедомового тепловычислителя, в результате чего подъездный контроллер, к которому подключен тепловычислитель, формирует структуру системы в доме, заполняет все имеющиеся у него данные о подъезде и запрашивает информацию у контроллеров, установленных в остальных подъездах.
5. Контроллер, получивший эти данные, автоматически становится мастером сети. Таким образом, исключается необходимость жесткой привязки передачи данных от тепловычислителя на какой-то определенный контроллер. При физическом изменении структуры системы роль ведущего может быть достаточно просто передана от одного подъездного контроллера другому. На данном этапе ведущий подъездный контроллер составляет тепловой баланс дома ($Q_{\text{дома}} = \sum Q_i$), после чего он производит расчет среднего коэффициента теплосъема $\alpha_{\text{ср}}$.

6. Полученный коэффициент α_{cp} передается на все подъездные контроллеры, которые после получения коэффициента подъездными контроллерами выполняют расчет величины теплотребления каждой квартиры.
7. Рассчитанные значения Q_i передаются для хранения в домовый контроллер и на сервер сбора данных.

После завершения Этапа 8 система возвращается к выполнению Этапа 4.

Далее в работе приведен расчет погрешности работы системы учета индивидуального теплотребления. Выполнен анализ инструментальной и методической составляющей погрешности. При расчете инструментальной составляющей погрешности были учтены следующие влияющие факторы: 1) погрешность измерения температуры; 2) погрешность изготовления отопительного прибора; 3) погрешность определения коэффициента тепловой эффективности отопительного прибора; 4) погрешность вычисления среднего коэффициента теплосъема. В результате расчетов показано, что суммарная погрешность контроля индивидуального теплотребления не превышает 10 %.

Приведен расчет погрешности определения теплотребления для типовой однокомнатной квартиры, которая, в основном, определяется точностью измерения значения номинального теплового потока отопительного прибора.

Предлагаемый вариант структуры и алгоритма работы системы контроля не зависит от конкретной конструкции многоквартирного дома и может быть применен в домах любого размера и конфигурации. Данный подход позволяет оптимально реализовывать систему контроля с наименьшими затратами в условиях современной российской действительности. Кроме того, алгоритм является достаточно гибким и может быть адаптирован под другую методику распределения.

В четвертой главе приводятся результаты экспериментальных исследований предложенного метода на реальном многоквартирном доме.

Сущность экспериментов состояла в получении опытных данных о теплотреблении в жилом доме и в домах, использующих альтернативные методы ведения контроля и учета теплотребления, и их анализа методами математической статистики.

В рамках эксперимента были проведены три исследования. Целями исследований ставились: 1) изучение потенциала энергосбережения в современных многоквартирных домах; 2) определение адекватности предлагаемого метода контроля индивидуального теплотребления относительно другого (общепринятого); 3) проведение анализа уровня индивидуальной оплаты за теплотребление в квартирах экспериментального дома и домов, использующих другие способы расчета индивидуального теплотребления.

Первое исследование было направлено на оценку возможного потенциала энергосбережения в многоквартирных домах путем анализа динамики общедомового теплотребления при индивидуальной экономии тепловой энергии жильцами.

Целью второго исследования ставилось изучение уровня согласованности данных о теплотреблении в экспериментальном доме и в доме, использующем общепринятый метод контроля. Анализ полученных данных выполнялся методами математической статистики.

Завершающее исследование направлено на изучение величины индивидуальных затрат тепловой энергии на отопление квартир и их сравнение с нормативными значениями. Данное исследование позволило оценить потенциальный уровень заинтересованности жильцов в собственной экономии и сделать вывод о целесообразности внедрения предлагаемого метода.

В результате первого эксперимента были сделаны следующие выводы: 1) при повышенной температуре окружающего воздуха использование только общедомового счетчика позволяет снизить платежи до 20 %; 2) использование системы контроля индивидуального теплотребления дает еще большее снижение потребления теплоты (до 30 %) за счет экономии теплотребления отдельными квартирами. В результате эксперимента было отмечено существенное снижение величины реального общедомового потребления.

Результатом второго эксперимента стало выявление согласованности между предлагаемым методом и общепринятым методом с общедомовым узлом учета. Сравнительный график динамики теплотребления представлен на рисунке 2.

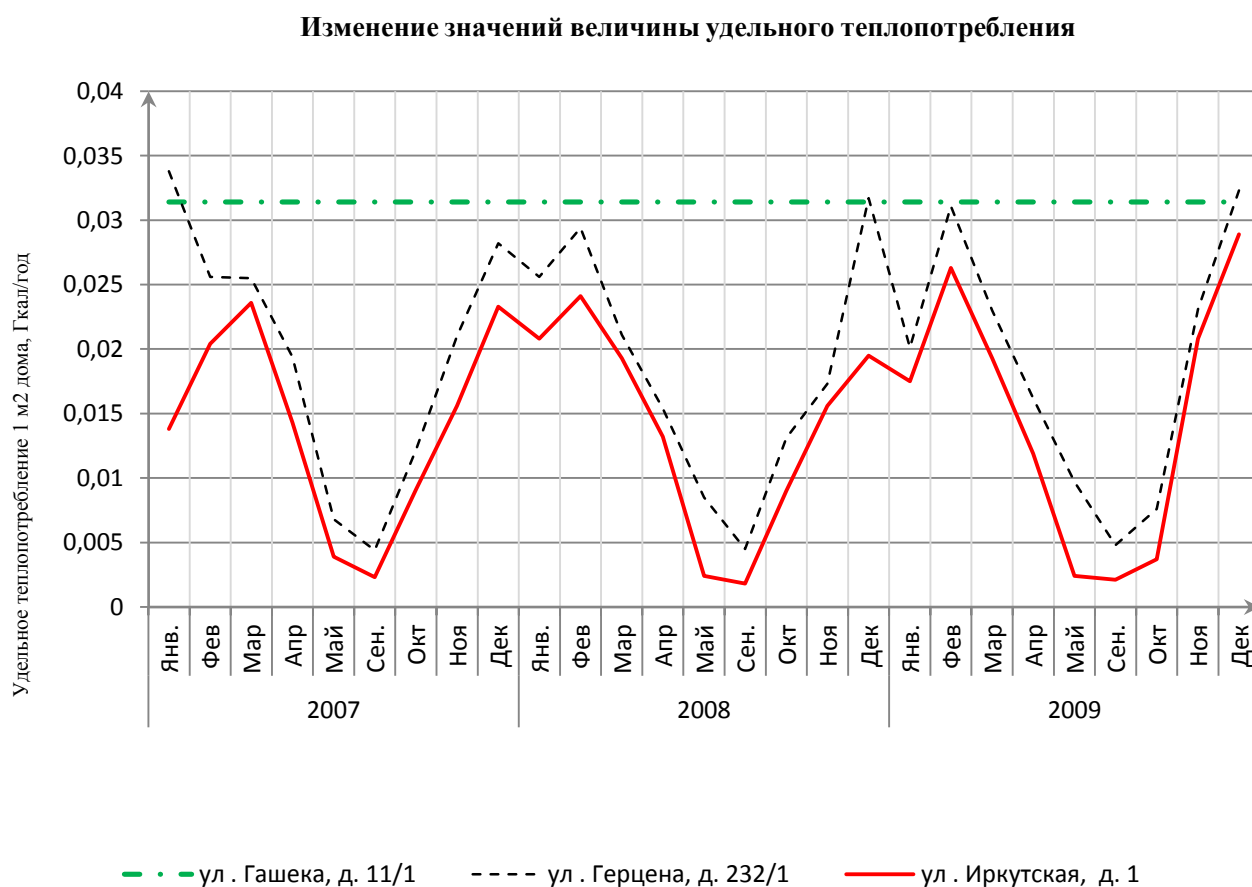


Рисунок 3. Динамика удельного теплотребления.

Как видно из графика, удельное потребление тепловой энергии в экспериментальном доме графически согласуется с потреблением в доме с общепринятым способом ведения учета (дом с общедомовым узлом учета).

С целью оценки уровня согласованности предлагаемого метода и метода с общедомовым узлом учета рассчитано значение критерия Фишера для экспериментального дома, которое составило $F_{\text{эсп.}} = 1,41$, что меньше критического значения критерия Фишера для данных условий, $F_{\text{крит.}} = 1,7$. Это свидетельствует о сходимости данных, полученных в результате использования различных методов учета потребления тепловой энергии.

В результате проведенного эксперимента были сделаны следующие выводы: 1) экспериментальная модель адекватна способу ведения учета с использованием общедомового узла учета; 2) контроль индивидуального теплопотребления стимулирует экономию со стороны жильцов; 3) потенциал экономии общедомового потребления за счет сокращения теплопотребления каждой отдельной квартирой составляет от 20 до 30 %.

В ходе заключительного эксперимента были получены данные об индивидуальном теплопотреблении квартир экспериментального дома. Эти данные позволили оценить уровень потенциальной экономии для отдельной квартиры в сравнении с рассчитанным нормативным значением теплопотребления. В экспериментальном доме находились квартиры, подключенные к системе контроля и не подключенные к ней. Теплопотребление подключенных квартир было рассчитано по представленному алгоритму. Для неподключенных квартир был определен внутридомовой норматив теплопотребления. Суть эксперимента заключалась в сравнении данных о теплопотреблении квартир, подключенных к системе, и квартир, не подключенных к ней с общегородским нормативом теплопотребления.

В результате анализа проведено группирование полученных данных по принципу теплопотребления в квартирах: 1) от 0 до 35 % от общегородского норматива; 2) от 35 до 70 %; 3) от 70 до 100 %; 4) свыше 100 %.

В результате такой классификации было выявлено, что теплопотребление 20 % квартир в доме составляет менее 35 % от общегородского норматива. Все эти квартиры были подключены к системе контроля индивидуального теплопотребления. Затраты на отопление основной массы квартир (51,3 %) составили от 35 до 70 % от общегородского норматива. Большая часть из них была также подключена к системе контроля. В 21,2 % квартир теплопотребление составило от 75 до 100 % от общегородского норматива. Расчет теплопотребления этой группы квартир в основном велся по общедомовому нормативу. Экономия затрат относительно общегородского норматива достигалась за счет коллективной экономии и общего снижения общедомовых затрат. В 7,5 % квартир затраты на отопление превысили общегородской норматив. Полученные данные наглядно представлены на гистограмме (рисунок 4).

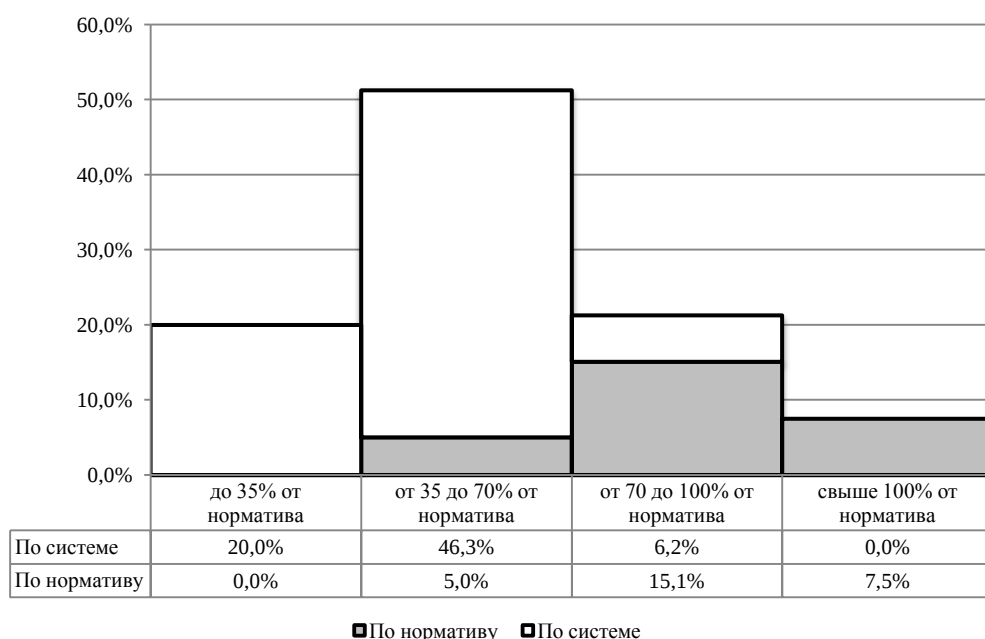


Рисунок 4. Гистограмма распределения количества квартир в зависимости от размера экономии затрат на отопление.

Анализируя причины превышения индивидуальных затрат общегородского норматива, было установлено, что основной причиной избыточного теплopotребления является значительное увеличение площади отопительных приборов или установка дополнительных элементов отопления (например, «теплого пола»). Кроме того, в этих квартирах не регулировали температуру отопительных приборов. Снижение температуры в комнатах достигалось путем открывания окон.

Уменьшение теплopotребления квартир, не подключенных к системе контроля, стало результатом уменьшения общедомового потребления усилиями экономных жильцов.

В результате эксперимента был сделан вывод, что возможность учета индивидуальных затрат на отопление является существенным стимулом для жильцов. Сокращение индивидуальных затрат приводит к сокращению затрат общедомовых, реализуя мероприятия по энергосбережению в многоквартирном доме.

Таким образом, в ходе проведенных натурных экспериментов был апробирован метод контроля индивидуального теплopotребления в многоквартирном жилом доме. Анализ полученных данных показал, что они достаточно хорошо согласуются с предварительными теоретическими расчетами. Все это свидетельствует о возможности внедрения данного метода в регулярную практику контроля индивидуального теплopotребления в многоквартирных домах.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

В диссертации обобщен и проанализирован существующий опыт контроля индивидуального теплopotребления в существующем и новом жилом фонде многоквартирных домов. При этом получены следующие научные и практические результаты.

- Сделан вывод, что в современной практике организации ЖКХ отсутствует единый подход к контролю индивидуального теплоснабжения в многоквартирных домах.
- В результате диссертационных исследований разработан метод индивидуального приборного контроля, основанный на измерении разности температур между отопительным прибором и воздухом в квартире.
- Подтверждено, что процесс теплоотдачи в квартире в значительной степени зависит от типа отопительного прибора. Для повышения уровня корректности распределения, расчетное уравнение дополнено коэффициентом тепловой эффективности отопительного прибора.
- Рассчитано значение величины погрешности индивидуального теплоснабжения. Полученное значение сопоставимо с погрешностью измерения количества тепловой энергии на общедомовом узле учета.
- Разработан алгоритм работы, учитывающий особенности интерфейса MicroLan и позволяющий автоматизировать работу системы контроля теплоснабжения.
- Проведена проверка экспериментальных данных, полученных с использованием разработанного метода на адекватность. Результаты проверки подтвердили его адекватность общепринятым методам и позволили сделать вывод о возможности его использования наравне с ними.
- Установлено, что реальный нереализованный потенциал энергосбережения многоквартирного дома за счет внедрения предложенной методики индивидуальной экономии тепловой энергии достигает 30%.
- Использование метода индивидуального учета позволяет оценить эффективность мероприятий по энергосбережению на уровне отдельной квартиры и стимулирует жильцов к проведению таких мероприятий.

ПУБЛИКАЦИИ АВТОРА

ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

1. **Попов А.А.** Учет теплоснабжения в многоквартирных домах / Казачков В.С., Шалай В.В., Попов А.А.// Омский научный вестник. Сер. Приборы, машины и технологии, 2007, Вып. 3(60), с. 78-83.
2. **Попов А.А.** Уровень платы за теплоснабжение в многоквартирных домах в зависимости от способа его учета / Казачков В.С., Шалай В.В., Когут С.А., Попов А.А.// Омский научный вестник. Серия Приборы, машины и технологии, 2008, Вып. 1(64), С. 90-94.
3. **Попов А.А.** Расчет значения погрешности системы индивидуального учета и распределения потребления тепла в многоквартирных домах / В.

- В. Шалай, В. С. Казачков, А. А. Попов // Омский научный вестник. Сер. Приборы, машины и технологии, 2009, № 3(83), с. 141-144.
4. **Попов А.А.** Учет теплоснабжения в многоквартирных домах/А.А. Попов // Гео-Сибирь-2009. т.5, ч.1. Специализированное приборостроение, метрология, теплофизика, микротехника: Сборник материалов V Международного научного конгресса, 20-24 апреля 2009 г., Новосибирск, Новосибирск: СГГА, 2009, с.121-123.
 5. **Попов А.А.** Энергосбережение в теплоэлектроэнергетике и теплоэлектротехнологиях: Сборник материалов I международной научно-практической конференции, 19-20 апреля 2010 г, Омск: изд-во ОмГТУ, 2010, с.5-7
 6. **Попов А.А.** Потребление тепла в многоквартирных домах / Казачков В.С., Шалай В.В., Когут С.А., Попов А.А.// Сантехника Отопление Кондиционирование, 2010, Вып. 6(101), с. 67-69.
 7. **Попов А.А.** Математическая модель для расчета значения индивидуального теплоснабжения в общедомовой системе учета / В. В. Шалай, А. А. Попов. // Омский научный вестник, Сер. Приборы, машины и технологии, 2011, № 3(103), с. 198-201.
 8. **Попов А.А.** Контроль индивидуального теплоснабжения в многоквартирном доме при использовании автоматизированной системы учета/ Попов А.А., Вавилов В.П., Лариошина И.А. // Контроль. Диагностика, №9, 2013.– С.21-24.

Попов Алексей Анатольевич

**Метод индивидуального приборного контроля теплопотребления
в многоквартирных домах**

Автореферат

Подписано к Усл.п.л. Уч.-изд.л.
печати

Формат 60x84/16 Тираж 100 экз. Заказ

Издано

Отпечатано в типографии