

СОКОЛОВ Александр Николаевич

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ
ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ
ИЗМЕРЕНИЙ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ В ДИАПАЗОНЕ от 0,02 до 3 Вт/(м·К),
ТЕПЛОВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ В ДИАПАЗОНЕ от 0,005 до 1,5 м²·К/Вт
И СОПРОТИВЛЕНИЯ ТЕПЛОПЕРЕДАЧЕ В ДИАПАЗОНЕ от 0,2 до 6 м²·К/Вт

Специальность 05.11.01 – Приборы и методы измерений
по видам измерений (измерения тепловых величин)

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург

2011

Работа выполнена в Федеральном Государственном унитарном предприятии
«Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии имени
Д.И. Менделеева»

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор, заслуженный метролог РФ,
Походун Анатолий Иванович

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор, Сапожников Сергей Захарович
доктор технических наук, профессор, Шарков Александр Васильевич

Ведущая организация **ФГУП «НИИ НПО «Луч»**

Защита состоится «31» октября 2011 года в 11 часов на заседании
диссертационного совета Д308.004.01 при ФГУП «ВНИИМ им.
Д.И. Менделеева», по адресу: 190005, г. Санкт-Петербург, Московский пр.,
д. 19.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГУП «ВНИИМ им.
Д.И. Менделеева»

Автореферат разослан « 26 » сентября 2011 года.

Отзывы на автореферат просим направлять по адресу:
190005, г. Санкт-Петербург, Московский пр., д. 19.

Ученый секретарь диссертационного совета
кандидат технических наук, доцент

Г.П. Телитченко

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Воспроизведение и передача единицы теплопроводности осуществляется с помощью измерительных установок и эталонных мер, определяющих достижимый уровень точности рабочих средств измерений (РСИ). Согласно результатам последних международных сличений слабым звеном в этой цепи, ограничивающим её измерительные возможности, служат эталонные меры. Современные РСИ обладают высокой воспроизводимостью результатов измерений и характеризуются незначительной случайной составляющей погрешности. В их суммарной погрешности доминирующей является неисключённая систематическая составляющая. Её источником служит эталонная мера, с помощью которой осуществляется передача единицы.

В диапазоне от 0,02 до 3 Вт/(м·К) средства измерений, рассматриваемые в диссертации, востребованы, прежде всего, для метрологического обеспечения энергосберегающих технологий в строительстве, на транспорте, в авиации и космонавтике. От правильности построения и действенности системы обеспечения единства измерений, технической основой которой, в том числе являются и эталонные меры теплопроводности, напрямую зависит выполнение Федерального закона РФ от 23.11.2009 № 261-ФЗ «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности.»

Существующая поверочная схема для средств измерений теплопроводности также обеспечивает единство измерений других физических величин, связанных с теплопроводностью, в частности, теплотехнических: сопротивление теплопередаче, коэффициент теплопередачи и др. РСИ этих величин обладают недостаточной точностью. В настоящее время неизвестно, связано ли это с самими измерительными установками или проблема состоит в несовершенстве методов передачи единицы. Решение задачи повышения точности этих РСИ необходимо для выполнения Федерального закона РФ от 23.12.2009 № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений».

Цель работы. Повышение точности измерений теплопроводности в диапазоне от 0,02 до 3 Вт/(м·К), теплового сопротивления в диапазоне от 0,005

до $1,5 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ и сопротивления теплопередаче в диапазоне $0,2$ до $6 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ с помощью вновь разработанных методов и средств измерений.

Для достижения поставленной цели были **решены следующие основные научные задачи:**

- предложен и обоснован новый метод и разработаны средства воспроизведения единицы теплопроводности и передачи её размера с помощью эталонных мер с компенсацией температурной деформации изгиба;

- построены теплофизические модели разработанных эталонных мер в напряжённо-деформированном состоянии;

- выведены уравнения для нахождения распределённого давления и силы, необходимых для компенсации температурной деформации изгиба пластинчатых эталонных мер теплопроводности;

- оценены метрологические характеристики воспроизведения единицы с помощью разработанных пластинчатых эталонных мер теплопроводности в диапазоне от $0,02$ до $3 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$;

- разработаны технические основы системы обеспечения единства измерений теплового сопротивления в диапазоне от $0,005$ до $1,5 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ и сопротивления теплопередаче в диапазоне $0,2$ до $6 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$;

- определены границы области применения методов для определения сопротивления теплопередаче по ГОСТ 26602.1 – 99;

- построены теплотехнические модели средств измерений сопротивления теплопередаче объектов со значительными теплопроводными включениями;

- предложен и обоснован новый метод и разработаны средства измерений сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций зданий и сооружений со значительными теплопроводными включениями.

Предмет исследований. Методы и средства воспроизведения и передачи единицы с помощью вновь предложенных пластинчатых эталонных мер теплопроводности и прецизионного измерения теплового сопротивления и сопротивления теплопередаче неоднородных ограждающих конструкций зданий и сооружений со значительными теплопроводными включениями.

Методы исследований. Теория теплопроводности и теплообмена, температурной деформации, упругости, теплофизического и теплотехнического эксперимента, численного моделирования.

Научная новизна

1. Предложены и обоснованы метод и средства воспроизведения единицы теплопроводности и передачи её размера с помощью вновь разработанных пластинчатых эталонных мер с компенсацией температурной деформации изгиба распределённым давлением. Необходимое для компенсации давление по сравнению с эталонными мерами из оргстекла, входящими в состав государственного первичного эталона, снижено со 170 до 2 кПа, что соответствует нормируемому значению для теплоизоляционных эталонных материалов.
2. Аналитически и численным методом решена задача компенсации осевой температурной деформации изгиба эталонных мер теплопроводности, что позволило вывести и проверить численным моделированием уравнения для нахождения распределённого давления и силы, необходимых для компенсации температурной деформации изгиба пластинчатой эталонной меры теплопроводности. На основании полученного аналитического решения сделано заключение о том, что выбор диаметра меры теплопроводности не оказывает влияния на значение силы, которую нужно приложить для компенсации её температурной деформации изгиба.
3. На основе теоретического анализа составляющих погрешности измерений оценены метрологические характеристики воспроизведения единицы теплопроводности на установке А-1 с помощью вновь разработанных пластинчатых эталонных мер теплопроводности. Доказано, что они имеют в два раза меньшую погрешность, чем эталонные меры из оргстекла, входящие в состав государственного первичного эталона, в расширенном более чем на порядок диапазоне измерений теплопроводности установки А-1, а именно 3 вместо 0,2 Вт/(м·К).
4. На основе проведённых исследований построенных теплотехнических моделей предложен и обоснован метод и разработаны средства измерений сопротив-

ления теплопередаче, позволяющие устранить систематическую погрешность, достигавшую ранее 15 %.

5. Разработаны технические основы метрологического обеспечения измерений величин, связанных с теплопроводностью, – теплового сопротивления в диапазоне от 0,005 до 1,5 м²·К/Вт и сопротивления теплопередаче в диапазоне 0,2 до 6 м²·К/Вт.

Практическая ценность диссертационной работы

Созданы пластинчатые эталонные меры теплопроводности с улучшенными метрологическими характеристиками, реализующие предложенный способ воспроизведения единицы и передачи её размера в расширенном диапазоне, которые после переутверждения действующей поверочной схемы и государственного первичного эталона теплопроводности будут введены в его состав. Это позволит поднять верхнюю границу диапазона входящей в него установки А-1 с 0,2 до 3 Вт/(м·К) и в 2 раза повысить точность воспроизведения единицы теплопроводности. Также это послужит основой для создания новой ветви вышеупомянутой поверочной схемы для средств измерений теплового сопротивления в диапазоне от 0,005 до 6 м²К/Вт (отношение верхней границы диапазона к нижней на эталонном уровне в 30 раз больше, чем для установки А-1).

Предполагаемая новизна использованных технических решений защищена заявкой на изобретение Н.А. Соколова и А.Н. Соколова «Способ определения теплопроводности материалов» с приоритетом от 26.08.2011.

Найдены границы области применения методов для определения сопротивления теплопередаче согласно ГОСТ 26602.1 – 99.

Создан стенд для определения сопротивления теплопередаче, реализующий предложенный метод измерения, предполагаемая новизна которого защищена заявкой на изобретение А.И. Походуна, А.Н. Соколова и Н.А. Соколова «Способ теплового неразрушающего контроля сопротивления теплопередаче строительной конструкции» с приоритетом от 23.08.2011 и который положен в основу новой ветви вышеупомянутой поверочной схемы для средств измерений сопротивления теплопередаче.

Результаты работы внедрены в национальных метрологических институтах России и Казахстана, а также в ОАО НПП «Эталон» (г. Омск) – основном Российском производителе средств измерений теплофизических величин.

Апробация результатов работы

Основные положения диссертационной работы и отдельные её результаты докладывались и обсуждались на 7 Всероссийских и Международных конференциях, а также на семинарах НИО 241 ВНИИМ им Д.И. Менделеева.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 15 научных работ, в том числе 3 – в журналах, рекомендованных ВАК.

Структура и объём диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и 1 приложения. Общий объём работы составляет 122 страницы машинописного текста, включая 30 рисунков, 21 таблицу и список литературы из 65 наименований.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Новый метод и разработанные средства воспроизведения единицы теплопроводности и передачи её размера с помощью пластинчатых эталонных мер в диапазоне от 0,02 до 3 Вт/(м·К).
2. Математическая модель упругой деформации в процессе компенсации распределённым давлением или силой осевой температурной деформации изгиба эталонных пластинчатых мер теплопроводности.
3. Результаты анализа ожидаемой погрешности пластинчатых эталонных мер теплопроводности.
4. Технические основы метрологического обеспечения единства измерений теплового сопротивления в диапазоне от 0,005 до 6 м²К/Вт и сопротивления теплопередаче в диапазоне 0,2 до 6 м²·К/Вт.
5. Новый метод и разработанные средства измерений сопротивления теплопередаче объектов со значительными теплопроводными включениями.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность диссертационной работы, сформулированы цели, научная новизна и практическая значимость исследований.

В первой главе приведены результаты международных сличений, которые доказывают, что лучшие из известных однозначных мер теплопроводности (МТО), являющиеся образцами теплоизоляционных материалов, недостаточно стабильны и ограничивают точность современных знаний о теплопроводности. Произведена классификация эталонных мер теплопроводности. Поставлена задача разработки методов и средств воспроизведения и передачи единицы теплопроводности с помощью МТО и многозначных эталонных мер (МТМ), выполненных на основе оргстекла, с компенсацией температурной деформации изгиба распределённым давлением. Выявлены недостатки в обеспечении единства измерений теплотехнических величин, связанных с теплопроводностью, прежде всего, в измерении сопротивления теплопередаче.

Во второй главе аналитически и численным методом с помощью теплофизических моделей МТО, находящихся в напряжённо-деформированном состоянии, решена задача компенсации их осевой температурной деформации.

Рассматриваемая МТО из оргстекла используется для поверки РСИ теплопроводности теплоизоляционных материалов. Расчётное давление, которое нужно приложить для компенсации её прогиба, составляет 165636 Па. При измерении теплопроводности полужёстких образцов осевое давление по европейским правилам ограничено значением 2 кПа. Задача состоит в том, чтобы добиться компенсации температурной деформации, не нарушая этих правил.

Согласно предложенному способу МТО толщиной h_m формируют, укладывая одну на другую N тонких пластин из органического стекла. Характер изменения температуры пластин в осевом направлении подчиняется линейному закону. Поэтому на каждой i -ой пластине перепад температуры ΔT_i будет пропорционален её толщине h_i : $\Delta T_i = \Delta T \cdot h_i / h_m$. Приложенное давление даёт значение стрелы прогиба в центральной части МТО, составляющее минус w_m . Исходя из уравнения $w - w_m = 0$, были найдены давление p_i и сила P_i , необходимые для преодоления осевой температурной деформации изгиба i -ой пластины и всей МТО, которая получила название «мера теплопроводности однозначная пластинчатая» (МТОП):

$$P_{\text{МТОП}} = \frac{2^5}{3} \cdot \left(\frac{1}{D}\right)^2 \frac{a \cdot E}{(1-m) \cdot (m+5)} \sum_{i=1}^N \Delta T_i \cdot h_i^2 ; \quad (1)$$

$$P_{\text{МТОП}} = \frac{8}{3} \cdot \frac{\pi \cdot a \cdot E}{(1-m) \cdot (m+5)} \sum_{i=1}^N \Delta T_i \cdot h_i^2 , \quad (2)$$

где a – температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР); D – диаметр пластины; E – модуль Юнга; m – коэффициент Пуассона; $p_{\text{МТОП}}$ – давление компенсации температурной деформации МТОП; $P_{\text{МТОП}}$ – сила компенсации температурной деформации МТОП.

Полученные аналитические решения и компьютерные модели позволяют определить область применения метода численного моделирования.

В конце главы выявлено и исследовано существенное расхождение результатов измерений сопротивления теплопередаче согласно ГОСТ 26254 и ГОСТ 26602.1, наиболее востребованных в энергосбережении.

В третьей главе оценены и исследованы погрешности разработанных СИ. Показано, что в МТО из оргстекла доминирующей является погрешность, обусловленная осевой температурной деформацией изгиба. На основании проведённых теоретических исследований доказано, что после ее компенсации необходимость во введении поправки на неё в МТОП отпала.

Построена теплотехническая модель измерения сопротивления теплопередаче в климатической камере. Анализ результатов моделирования показал наличие неисключённой систематической погрешности (НСП), возникающей вследствие того, что коэффициенты теплоотдачи согласно ГОСТ 26254 и ГОСТ 26602.1 нормируются по отношению к центрам отделений климатической камеры, а измеряются – на расстоянии 0,15 м от ограждающей конструкции.

В четвёртой главе описаны разработанные прецизионные средства измерений теплопроводности и связанных с ней величин.

Калориметрический блок устройства с МТОП изображён на рисунке. Здесь плоские пластины МТОП 2 укладывают одна на другую на термостат 5 параллельно плоскости теплового контакта с источником тепла 4 (необходимое число пластин $2N$, где N – натуральное число, предварительно рассчитывается). Верхнюю плоскость МТОП 2 приводят в тепловой контакт с источником тепла

4. На него устанавливают исследуемый образец 1 с предварительно измеренной толщиной h , создавая тепловой контакт с источником тепла 4.

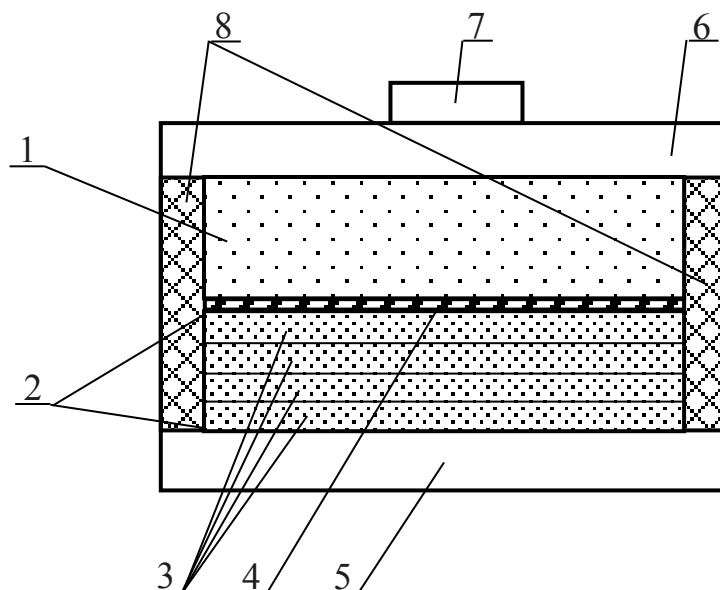


Рис. Калориметрический блок устройства с МТОП

На верхнюю поверхность исследуемого образца 1 устанавливают термостат 6, создавая тепловой контакт с исследуемым образцом 1. Боковые поверхности исследуемого образца 1 и МТОП 2 окружают адиабатической оболочкой 8, исключающей теплообмен с внешней средой. С помощью источника давления 7 прижимают термостат 6, исследуемый образец 1, источник тепла 4, и МТОП 2 к термостату 5 с допустимым давлением p_d . Устанавливают с помощью термостатов 5 и 6 заданную температуру внешних поверхностей исследуемого образца 1 и МТОП 2. С помощью источника тепла 4 генерируют тепловой поток с заданной плотностью q и после установления стационарного режима измеряют перепад температуры ΔT и определяют искомую теплопроводность исследуемого образца 1 по формуле

$$\lambda = h \cdot (q \cdot R_{\text{МТОП}} / \Delta T - 1) / R_{\text{МТОП}}, \quad (3)$$

где $R_{\text{МТОП}}$ – тепловое сопротивление МТОП.

Предварительно вместо исследуемого образца устанавливают половину пластин МТОП, определяют по формуле $R_{\text{ср}} = 2\Delta T / q$ среднее тепловое сопротивление образцов $R_{\text{ср}}$, каждый из которых содержит N пластин, и используют полученное значение в формуле (3): $R_{\text{МТОП}} = 2R_{\text{ср}}$.

Также описан стенд для определения сопротивления теплопередаче, реализующий предложенный метод измерения, согласно которому для устранения выявленной выше НСП термостатируют дополнительные плоские поверхности, расположенные на нормируемом расстоянии от исследуемой ограждающей конструкции и, регулируя воздушный поток между ними и исследуемой конструкцией, устанавливают заданные значения коэффициентов теплоотдачи.

Предложен также стенд для определения сопротивления теплопередаче с приставными камерами и построена его теплотехническая модель, с помощью которой доказано, что при точных измерениях сопротивления теплопередаче неоднородной ограждающей конструкции со значительными теплопроводными включениями ГОСТ 26602.1 даёт заниженные результаты, и в этом случае целесообразно использовать ГОСТ 26254.

В пятой главе приведены результаты экспериментальных исследований разработанных методов и средств измерений, которые доказывают правильность результатов теоретических исследований, выполненных в предыдущих разделах диссертации. По результатам измерений на эталонной установке А-1 государственного первичного эталона (ГПЭ) МТОП не имеет систематической погрешности, зависящей от перепада температуры, в пределах случайной погрешности А-1 (0,2 %). Результаты исследований долговременной стабильности показали, что за 4 года наблюдений на установке А-1 отклонения теплопроводности МТОП от среднего значения не превысили 0,2 %.

Также приведены результаты измерений сопротивления теплопередаче ворот фирмы ООО «Алютех Воротные системы». Результаты экспериментальных исследований подтвердили расхождение результатов измерений по ГОСТ 26254 и ГОСТ 26602.1, превышающее 15 % вместо нормируемых 6 %.

В заключительной части на основе исследований, выполненных в предыдущих главах, разработаны технические основы системы обеспечения единства измерений теплового сопротивления и сопротивления теплопередаче.

Переход от МТО к МТОП, которые представляют собой СИ, имеющие специальную конструкцию, способствовал приобретению этими эталонными

мерами новых свойств. Действительно, установка А-1 может быть использована для измерения теплопроводности тонких образцов материалов толщиной порядка $h_t = 1$ мм. В настоящее время для установки А-1 изготовлена МТО из органического стекла толщиной 1,5 мм с тепловым сопротивлением $R_t = 0,01$ м²·К/Вт. Если применить её в качестве МТО, а для исследуемого образца выбрать обычную толщину $h_m = 30$ мм, то для обеспечения нормального режима работы установки А-1 (равенство тепловых сопротивлений образцов) он должен иметь теплопроводность $\lambda_m = h_m/R_t$, что составит 3 Вт/(м·К). Таким образом, при обычной толщине МТО 30 мм установка А-1 позволит воспроизводить единицу теплопроводности в диапазоне с верхней границей 3 Вт/(м·К).

Фактически, здесь воспроизводится единица теплового сопротивления, связанная с теплопроводностью, а прослеживаемость к ГПЭ обеспечивается поверочной схемой СИ теплопроводности. Согласно ГОСТ 8.061 – 80 «поверочная схема устанавливает передачу размера одной или **нескольких взаимосвязанных физических величин**». Этот тезис реализован в предложенном проекте государственной поверочной схемы для СИ теплопроводности, теплового сопротивления и сопротивления теплопередаче. Её возглавляет ГПЭ, в состав которого, кроме имеющихся СИ, включены установка А-1 как эталон, воспроизводящий единицу теплового сопротивления и передающий её размер в диапазоне от 0,005 до 1,5 м²·К/Вт (по теплопроводности имеем диапазон от 0,02 до 0,2 Вт/(м·К), то есть соотношение между максимальным и минимальным значением в 30 раз меньше); стенд для воспроизведения единицы сопротивления теплопередаче и передачи её размера в диапазоне от 0,2 до 6 м²·К/Вт; набор мер теплового сопротивления и сопротивления теплопередаче.

Предложенная поверочная схема позволяет решить задачу обеспечения единства измерений теплопроводности и связанных с ней величин: теплового сопротивления и сопротивления теплопередаче – одного из основных параметров, применяемых для контроля энергосбережения.

Заключение

В результате выполнения настоящей диссертационной работы решена актуальная научно-техническая задача, имеющая важное хозяйственное значение – повышение точности измерений теплопроводности в диапазоне от 0,02 до 3 Вт/(м·К), теплового сопротивления в диапазоне от 0,005 до 1,5 м²·К/Вт и сопротивления теплопередаче в диапазоне 0,2 до 6 м²·К/Вт с помощью вновь разработанных методов и средств измерений.

Разработанные эталонные и рабочие средства измерений внедрены в национальных метрологических институтах России и Казахстана, а также в ОАО НПП «Эталон» (г. Омск) – основном Российском производителе средств измерений температурных и теплофизических величин.

Все это подтверждает необходимость и практическую ценность работ, составивших основу диссертации.

Наиболее значимыми являются следующие результаты.

1. Предложены и обоснованы метод и средства воспроизведения единицы теплопроводности и передачи её размера с помощью вновь разработанных пластинчатых эталонных мер с компенсацией температурной деформации изгиба распределённым давлением. Необходимое для компенсации давление по сравнению с эталонными мерами из оргстекла, входящими в состав государственного первичного эталона, снижено со 170 до 2 кПа, что соответствует нормируемому значению для теплоизоляционных эталонных материалов.
2. Аналитически и численным методом решена задача компенсации осевой температурной деформации изгиба эталонных мер теплопроводности, что позволило вывести и проверить численным моделированием уравнение для нахождения распределённого давления или силы, необходимых для компенсации температурной деформации изгиба пластинчатой эталонной меры теплопроводности. На основании полученного аналитического решения сделано заключение о том, что выбор диаметра меры теплопроводности не оказывает влияния на значение силы, которую нужно приложить для компенсации её температурной деформации изгиба.

3. На основе теоретического анализа составляющих погрешностей измерений оценены метрологические характеристики воспроизведения единицы с помощью вновь разработанных пластинчатых однозначных и многозначных эталонных мер теплопроводности и доказано, что они могут быть использованы в действующем государственном первичном эталоне теплопроводности. Это позволит поднять верхнюю границу диапазона входящей в его состав установки А-1 с 0,2 до 3 Вт/(м·К) и в 2 раза повысить её точность.

4. Разработаны технические основы метрологического обеспечения измерений величин, связанных с теплопроводностью – теплового сопротивления и сопротивления теплопередаче. Предложен проект государственной поверочной схемы для средств измерений теплопроводности и связанных с ней величин, в котором предусмотрена ветвь для средств измерений теплового сопротивления в диапазоне от 0,005 до 6 м²К/Вт (отношение верхней границы диапазона к нижней на эталонном уровне в 30 раз больше, чем для установки А-1). Также предусмотрена ветвь для средств измерений сопротивления теплопередаче в диапазоне 0,2 до 6 м²·К/Вт.

5. На основе проведённых исследований построенных теплотехнических моделей предложен и обоснован метод и разработаны средства измерений сопротивления теплопередаче, позволяющие устранить систематическую погрешность, превышавшую 15 %.

6. Определены границы области применения методов для определения сопротивления теплопередаче по ГОСТ 26602.1 – 99. Показано, что при наличии теплопроводных включений с тепловым сопротивлением меньше 30 % и площадью (20÷50) % от соответствующих параметров ограждающей конструкции указанный стандарт существенно занижает значение определяемой величины, причём систематическая погрешность превышает предельно допустимое значение более чем в 3 раза. Это доказывает необходимость разработки единого стандарта на метод измерения сопротивления теплопередаче светопрозрачных и непрозрачных ограждающих конструкций зданий и сооружений взамен ГОСТ 26254 – 84

и ГОСТ 26602.1 – 99, основанного на результатах теоретических исследований и средствах измерений, разработанных в диссертации.

Основное содержание диссертации изложено в следующих публикациях:

1. Соколов Н.А., Соколов А.Н. Метрологическое обеспечение энергосбережения в строительстве // Светопрозрачные конструкции, 2008, № 4. – С. 8-13.
2. Соколов А.Н. Анализ расхождений определения приведённого сопротивления теплопередаче по ГОСТ 26254 – 84 и ГОСТ 26602.1 – 99 // Светопрозрачные конструкции, 2009, № 4. – С. 7-9.
3. N.A. Sokolov and A.N. Sokolov New reference installation for measurement large thermal conductivities. – In Book of reports abstracts the 17th Symposium on Thermophysical Properties // USA, NIST, Juny 21 – Juny 26, 2009, p.280.
4. N.A. Sokolov and A.N. Sokolov. Multiple-Valued Measures of Thermal Conductivity for the Realization of Thermal Conductivity in the Range from 0.01 to 500 W/(m·K) / In Book of reports abstracts the 30th International thermal conductivity conference and 18th International thermal expansion symposium // USA, Anter Corporation, Pittsburgh, Pennsylvania, DEStech Publications, 2009, p. 67.
5. Соколов Н. А., Соколов А.Н. Многозначные меры теплопроводности для диапазона 20 – 500 Вт/(м·К) // Измерительная техника, 2009, № 7. – С. 43-46.
6. Соколов А.Н. Компьютерное моделирование определения приведённого сопротивления теплопередаче по ГОСТ 26254 – 84 и ГОСТ 26602.1 – 99 // Светопрозрачные конструкции, 2009, № 5-6. – С. 11-18.
7. Соколов Н.А., Соколов А.Н. Новая концепция воспроизведения единицы теплопроводности // Сборник трудов IV Международной научно-технической конференции «Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке». СПб.: Изд-во СПбГУНиПТ, 2009. С. 180-181.
8. Соколов Н.А., Соколов А.Н. Обеспечение единства измерений теплофизических и теплотехнических параметров строительных материалов и конструкций // Сборник трудов II Всероссийской научно-технической конференции «Строительная теплофизика и энергоэффективное проектирование ограждающих конструкций зданий». СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2009. С. 146-151.

9. Дацюк Т.А., Соколов Н.А., Мелех Т.Х., Соколов А.Н. Несовершенство нормативной базы – проблема производителей и испытателей // Светопрозрачные конструкции, 2010, № 1-2. – С. 78-82.
10. Разработка концепции развития системы метрологического обеспечения в области энергосбережения, раздел 1.4: отчет по НИР по Государственному контракту № 156-6-43 от 20 марта 2009 г. / ВНИИМ им. Д.И. Менделеева: Рук. Гуткин М.Б.; исполн. Соколов Н.А., Соколов А.Н., Чистяков Ю.А., Чурилина Н.В. // № Госрегистрации 01200904182, инв. № 02201000667. – С. 35-41.
11. Соколов Н.А. Соколов А.Н. Обеспечение единства измерений теплозащитных свойств ограждающих конструкций в лабораторных условиях // Сборник докладов Международной научно-практической конференции «Энергосбережение в системе теплоснабжения. Повышение энергетической эффективности». СПб: Политехника-сервис. 2010. С.31-38.
12. Соколов Н.А. Соколов А.Н. Создание новых средств и системы метрологического обеспечения измерений теплопроводности эффективных теплоизоляторов // Приборы, 2010, № 7. – С. 2-9.
13. N. Sokolov, A. Sokolov Reduction of systematic uncertainty of a measure of thermal conductivity caused by thermal expansion // In Book of abstracts the International conference Tempmeко 2010 , Volume A // 31 May – 4 June 2010 Slovenija, 2010, p. 194.
14. Соколов Н.А., Соколов А.Н., Михалченко В.М., Бегайдаров Ж.А., Мухамеджанов Б.Ж. Международные сличения КООМЕТ по теплопроводности в диапазоне 0,03 ... 0,05 Вт/(м·К) / 4-я Всероссийская и стран-участниц КООМЕТ конференция по проблемам термометрии «Температура – 2011». 19 – 21 апреля 2011 г.: Тезисы докладов // СПб: ВНИИМ им. Д.И. Менделеева, 2011. – с. 143.
15. Соколов А.Н. определение энергосберегающих свойств неоднородных ограждающих конструкций // Приборы, 2011, № 9. – С. 54-58.

В работах, выполненных в соавторстве, **личный вклад автора** в равных долях с соавторами.