

На правах рукописи

Побережский Сергей Юрьевич

**ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОРГАНИЧЕСКИХ
ЖИДКОСТЕЙ**

Специальность: 01.04.14 - Теплофизика и теоретическая теплотехника

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Москва - 2015

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»

Научный руководитель: Кандидат физико-математических наук
Поляков Игорь Викторович

Официальные оппоненты: **Сухих Андрей Анатольевич** – доктор технических наук, доцент, НИУ «Московский энергетический институт», заведующий кафедрой

Гапонов Валерий Дмитриевич – кандидат технических наук, АО «НПО Энергомаш им. академика В.П.Глушко», главный специалист

Ведущая организация: Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н.Туполева (КАИ).

Защита состоится «07» декабря 2015 года в 15 час. 00 мин. на заседании диссертационного совета Д 212.125.08, созданного на базе Московского авиационного института (национального исследовательского университета), по адресу: 125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и сайте Московского авиационного института (национального исследовательского университета) <http://www.mai.ru/upload/iblock/180/dissertatsiya-poberezhskogo.pdf>

Автореферат разослан « ____ » _____ 2015 г.

Ученый секретарь диссертационного
совета Д 212.125.08 д.т.н., профессор

Зуев Юрий Викторович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

В современном динамично развивающемся мире актуальным является создание и исследование свойств жидкостей, которые находят широкое применение в различных отраслях науки и техники. Необходимость отработки и создания современных изделий и установок требует постоянного совершенствования экспериментальных и теоретических исследований теплофизических свойств жидкостей. Одной из первоочередных задач техники теплофизических исследований – повышение их точности при уменьшении затрат. Способы получения достоверной, оперативной информации о теплофизических свойствах различных веществ, в первую очередь, связаны с использованием нестационарных экспресс-методов измерений температуры на начальном этапе теплообмена. Данный этап, классифицируется как режим иррегулярного теплового режима, даёт возможность существенно сократить время регистрации измерений температуры до предельно малых значений. На практике оно составляет $\sim 10^{-4}$ с. Использование иррегулярного теплового режима является предпочтительным и перспективным, так как зондирование исследуемого объекта производится одиночными импульсами, оказывающими минимум воздействия на изучаемую систему.

Одним из условий по реализации кратковременных измерений является то, что измерительный зонд должен обладать малой инерционностью, а также совмещает функции источника и приёмника тепла, позволяющие проводить исследования с небольшим количеством вещества. Так как инерционность зонда в основном определяется его собственной теплоёмкостью, то в модельных задачах возмущение, вносимое собственной теплоёмкостью, является функцией времени измерения и, соответственно, характеристик зонда, а именно его активного сопротивления, влияющего на точность исследований. В связи с этим в методах кратковременных измерений огромное значение приобретает использование напылённых резистивных элементов.

Поэтому совершенствование метода экспресс-диагностики, основанного на методе иррегулярного теплового режима с использованием высокоомных датчиков для изучения теплофизических свойств органических жидкостей является актуальным.

Целью работы является исследование теплопроводности и тепловой активности органических чистых и многокомпонентных диэлектрических жидкостей от температуры и концентрации бинарных и тройных растворов.

Для достижения цели необходимо создание экспериментальной установки и разработки методики измерений на ней.

Научная новизна

1. Впервые исследованы более ста совершенно новых диэлектрических растворов органических жидкостей.

2. Получено математическое соотношение для учёта отклонения от аддитивности при расчёте тепловой активности бинарных растворов.

3. Показана нелинейная зависимость теплофизических свойств многокомпонентных жидкостей от концентрации смеси и свойств смешивающихся компонентов в соответствии с классификацией Эвелла.

4. Разработана методика и создан экспериментальный стенд по определению коэффициента теплопроводности и тепловой активности жидкостей с погрешностью не более 3%.

Практическая значимость исследования

1. Полученные результаты исследований имеют наиболее важное значение в тех отраслях промышленности, в которых принципиальным является обеспечение высокого уровня надежности и эффективности технических устройств и аппаратов, таких как аэрокосмическая отрасль и энергетика, где органические жидкости используются в качестве компонентов топлива или теплоносителя.

2. Прогнозирование тепловой активности бинарных жидкостей позволяет существенно сократить затраты на проведение исследований по созданию современных технических систем и устройств.

3. Полученная зависимость теплофизических свойств исследуемых тройных жидкостей от концентрации компонентов характеризует сложную природу теплопереноса в средах.

4. Проведенные в данной работе исследования и разработанное на их основе оборудование, методы и средства позволили проводить измерения коэффициента теплопроводности и тепловой активности органических многокомпонентных жидкостей с точностью соответствующей чистым веществам.

Предметом исследования данной работы являются теплофизические свойства органических жидкостей, используемых в различных энергетических установках (авиационные и ракетные двигатели, теплообменники и другое оборудование), а также для расчёта тепловых режимов протекающих в них.

Метод исследования

Импульсный метод – экспериментальный, относительный нестационарный метод горячей (нагретой) нити в стадии иррегулярного теплового режима.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Данные о теплопроводности и тепловой активности органических жидкостей в зависимости от температуры.

2. Соотношения для расчёта тепловой активности бинарных растворов от вида и объёмной концентрации компонентов.

3. Нелинейная зависимость коэффициента теплопроводности трехкомпонентной жидкости от вида и концентрации компонентов.

4. Методика и экспериментальный стенд, разработанный на экспресс-методе иррегулярного теплового режима, для изучения теплофизических свойств диэлектрических растворов многокомпонентных органических жидкостей.

Достоверность результатов

Достоверность подтверждается использованием экспериментального стенда созданного на основе хорошо изученных методах теплофизических исследований, хорошим согласием результатов, полученных при многократных измерениях с результатами других авторов, а также полученными в ходе аналитических вычислений.

Апробация результатов исследования

Материалы, изложенные в диссертации, докладывались и обсуждались на: X международной конференции – «Авиация и космонавтика – 2011» (г. Москва 13-15 ноября 2011); XII международной конференции – «Авиация и космонавтика – 2013» (г. Москва 13-15 ноября 2013); «Международная школа семинар – 2014. Физика в системе высшего и среднего образования» (г. Москва 23-25 июня 2014); XIII международной конференции – «Авиация и космонавтика – 2014» (г. Москва 13-15 ноября 2014); IX международной теплофизической школы (Октябрь 2014, Душанбе); I international scientific and practical conference – Euroscience (Belgorod-Sheffield 2014).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 15 научных работ в виде статей в научно-технических изданиях, 6 из списка ВАК, и тезисов докладов в сборниках конференций.

Личный вклад состоит в формулировке основных подходов в постановке экспериментальных исследований коэффициента теплопроводности и тепловой активности органических жидкостей, разработке и создании необходимого оборудования и устройств, анализе и обобщении полученных данных. Все основные результаты и выводы получены лично автором.

Структура и объём диссертации

Диссертация состоит из введения, 3 глав, заключения и приложения. Общий объём диссертации – 122 страницы, работа содержит 6 таблиц, 32 рисунка и список литературы из 81 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы диссертации, сформулирована цель диссертации, приведено краткое содержание глав диссертации, показана практическая значимость полученных результатов, представлены выносимые на защиту положения. Дан краткий обзор литературы по существующим методам теплообмена и расчета теплофизических свойств в органических жидкостях.

В первой главе: Первая глава посвящена обзору методов экспресс-диагностики теплофизических свойств растворов их теоретическому обоснованию.

Методы экспресс-диагностики предполагают:

- существенное уменьшение пространственных областей, в которых проводились измерения,
- значительное сокращение длительности измерения,
- изготовление измерительного элемента в виде малогабаритного зонда.

Также следует отметить ещё одно требование, которое предъявляют к измерениям, относящимся к средствам экспресс-диагностики это отсутствие специальной измерительной ячейки и, поэтому, необходимости специальной подготовки вещества или раствора для проведения исследования.

Первостепенным параметром экспресс-диагностики является длительность измерения, то есть время регистрации пространственно-временного изменения температуры, которое содержит информацию о теплофизических свойствах исследуемой среды. Уменьшение этого времени до величины порядка $10^{-4} \div 10^{-2}$ с, приводит к уменьшению характеристического размера области, в которой создаётся температурное поле до величин $10^{-4} \div 10^{-3}$ м.

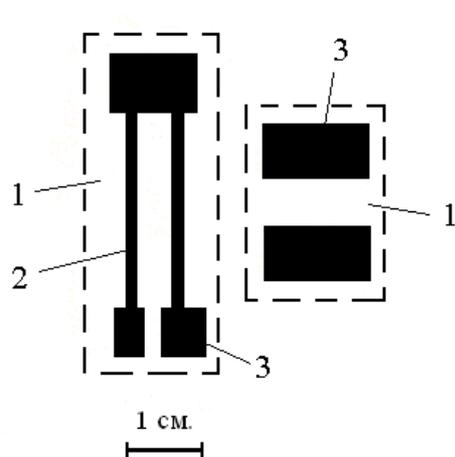
Практическое применение методов экспресс-диагностики требует использование классических инструментов измерения, а именно резистивных элементов – зондов, которые совмещают функции источника и приемника

тепла. Отмечая большой прогресс в развитии методов иррегулярного режима, способствующий развитию и совершенствованию теплофизических измерений на основе самых современных средств микроэлектронной техники и нанотехнологий. В ходе проведения таких измерений кратковременный импульс зондирует исследуемую среду, оказывая на неё минимальное воздействие. В виду малого времени действия импульса, такое зондирование можно осуществлять с достаточно большой частотой, которая выбирается исходя из условия, чтобы в паузе возникающей между соседними импульсами подводимое тепло рассеялось практически полностью. Данная особенность измерений позволяет обеспечивать их многократную воспроизводимость в течение достаточно небольшого времени, что имеет огромное значение с точки зрения обеспечения их метрологических показателей. Если говорить о практически полезных особенностях, то можно сказать, что они очевидны, поскольку дают возможность исследовать свойства веществ и жидких растворов в малых объёмах и тонких слоях.

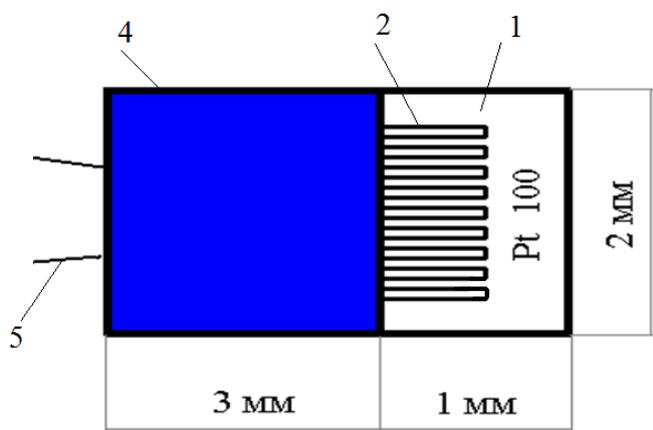
Во второй главе рассмотрено и обосновано использование экспериментального метода измерения теплофизических характеристик в стадии иррегулярного теплового режима, а также дан анализ методики исследований и характеристик применяемого оборудования.

Датчики, которые были использованы нами, были изготовлены в виде металлической плёнки небольшой толщины, нанесённой на диэлектрическую подложку, толщина плёнки составляет от 10^{-2} – 10^{-1} мкм, рисунок 1(а). Для некоторых исследований резистивный элемент наносился напылением, рисунок 1 (б) и 1 (в). Выбор металла элемента определялся, в соответствии со значениями удельного сопротивления и температурного коэффициента сопротивления, а также – подверженностью коррозии и механической прочностью. Используемые датчики должны удовлетворять большому спектру требований, таких как: механическая прочность, однородность напыления, неизменность сопротивления контактов между металлической плёнкой и

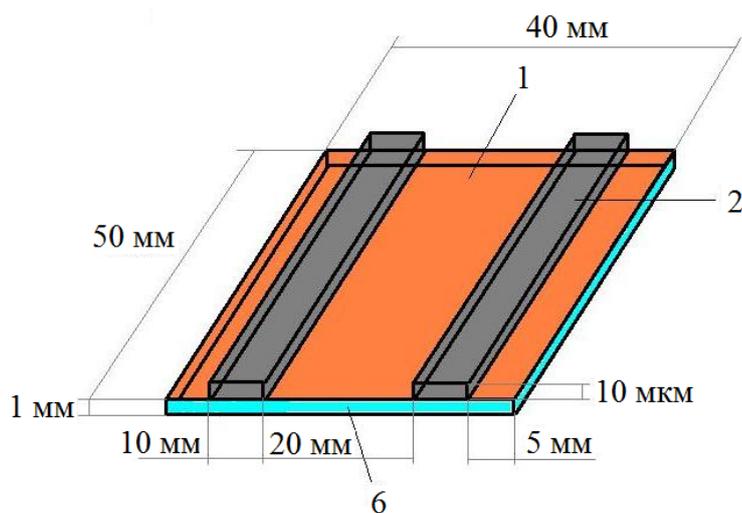
токо съёмником, линейностью зависимости сопротивления датчика от температуры, достаточной величиной температурного коэффициента сопротивления, достаточным омическим сопротивлением резистивной дорожки.



а) Плёночный



б) Меандровый



в) Напылённый

- 1 – подложка
- 2 – резистивный элемент
- 3 – контактная площадка для токо съёмников
- 4 – корпус датчика
- 5 – токо съёмники
- 6 – стеклянная основа

Рисунок 1. Внешний вид датчиков

Несоблюдение этих требований, приводит к искажению температурного поля, что увеличивает погрешность исследования. Параметры одиночных резистивных дорожек (ширина и длина) были следующими: 1x10, 1x20, 2x10, 2x20, 0,01x20, 0,005x10мм. Поверхностное сопротивление напылений составляло $\gamma = 5 \div 50$ Ом. На концах резистивных дорожек напылялись

контактные площадки (медь, серебро), к которым припаивались токосъёмники. На подложке, как правило, располагалось несколько дорожек. По использованию пар металлизация-подложка датчики подразделялись на никель–ситалл, никель–стекло, алюминий–стекло, алюминий–ситалл.

При кратковременных измерениях теплопроводности ряда жидкостей использовались нитевидные зонды (рисунок 2), чувствительным элементом в которых служила платиновая нить радиуса – 1,2 мкм, так же механически более прочная нить, из вольфрама (5 и 8 мкм) или платины (5 мкм).

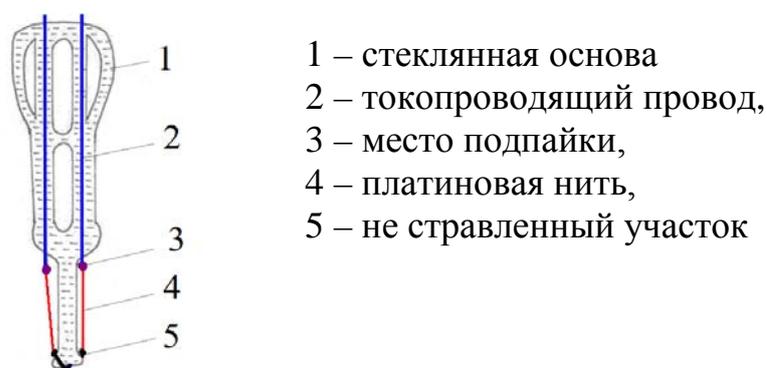


Рисунок 2. Нитевидный зонд

Очень важным и безусловно полезным приёмом, который существенным образом облегчает процедуру относительных измерений, и в значительной степени повышающим их чувствительность и точность, является использование компенсационной схемы, рисунок 3. Компенсационная схема состоит из измерительного, компенсационного датчиков и магазина высокоточных сопротивлений, включенных в мостовую схему.

Далее остановимся на самом процессе измерений. Вначале измерительный зонд вводится в контакт с эталонной жидкостью и при периодической подаче импульсов, частота которых выбирается из условий наибольшего удобства визуального наблюдения сигнала на экране осциллографа DPO 3014 и практически полного исчезновения возникшего температурного поля в паузе между импульсами, осуществляется баланс и

компенсация переменного сигнала. В этот момент регистрируется значение сопротивления, которое мы обозначим, как $R_{1(эТ)}$. После этого зонд приводится в соприкосновение с исследуемой жидкостью, и снова проводятся перечисленные выше операции, при этом регистрируется сопротивление R_1 .

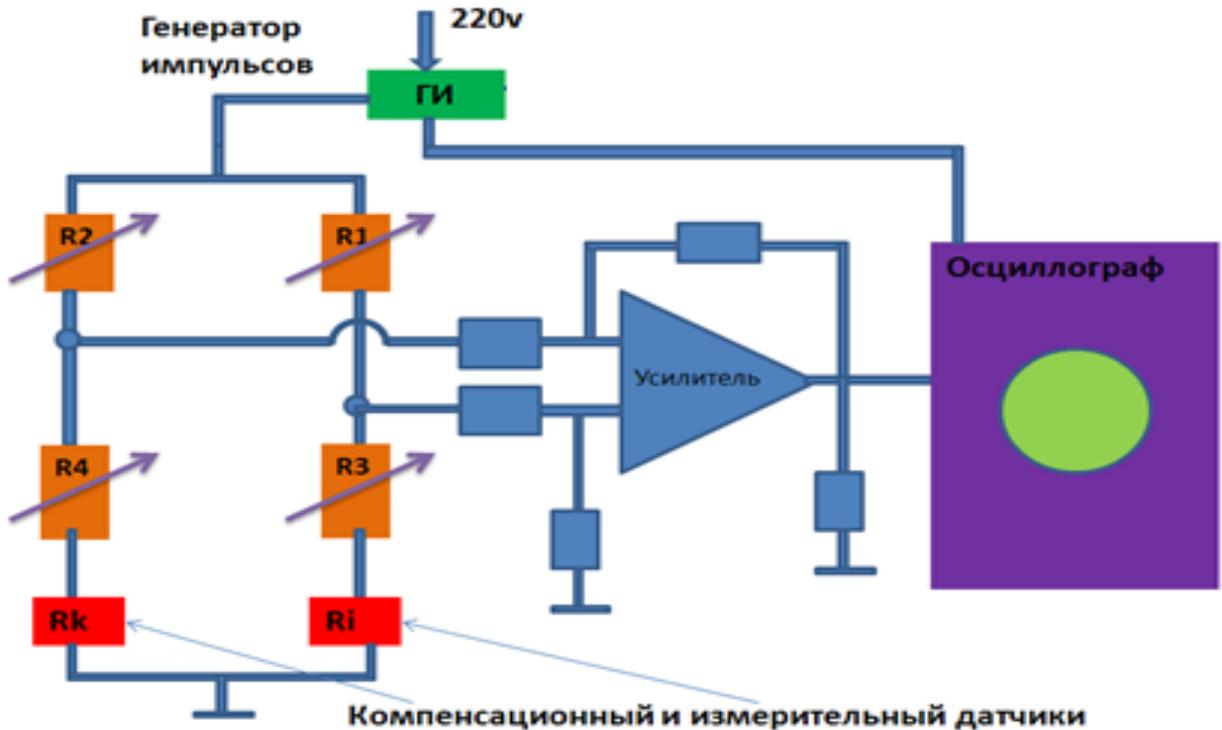


Рисунок 3. Компенсационная схема

Отметим, что условия в плече компенсационного зонда и сосуда, в который он был помещён, оставались неизменными в течение всего времени проведения эксперимента. Сосуд был термостатирован при $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, а зонд при этом находился в трансформаторном масле или толуоле необходимой температуре. При такой фиксации условий можно получить уравнения для тепловой активности и теплопроводности в виде:

$$\varepsilon = [\varepsilon_{(эТ)} + \varepsilon_0] \left[\frac{R_{1(эТ)}}{R_1} \right]^3 - \varepsilon_0,$$

$$\lambda = [\lambda_{(эТ)} + \lambda_0] \left[\frac{R_{1(эТ)}}{R_1} \right]^3 - \lambda_0,$$

где ϵ_0 и λ_0 – тепловая активность и теплопроводность подложки, или, в общем случае, той среды, которая граничит с исследуемым жидким раствором.

Следует отметить, что компенсационная методика температурных измерений очень удобна и высоко производительна. Даже самая трудоёмкая её часть, такая как осуществление компенсации, на практике требует совсем немного времени.

Используемая для изучения теплофизических свойств жидкостей экспериментальная установка (рисунок 3.) содержит генератор импульсов, который обеспечивает создание прямоугольного импульса напряжений на измерительном зонде мостовой измерительной схемы. С точки зрения используемой методики, генератор импульсов должен удовлетворять следующим требованиям: регулируемой длительностью импульса, достаточно высоким регулируемым напряжением и малым внутренним сопротивлением.

Одним из ключевых направлений данной работы являлась разработка схемы, а также проектирование и создание действующей модели генератора измерительных импульсов, структурная схема которого приведена на рисунке 4.

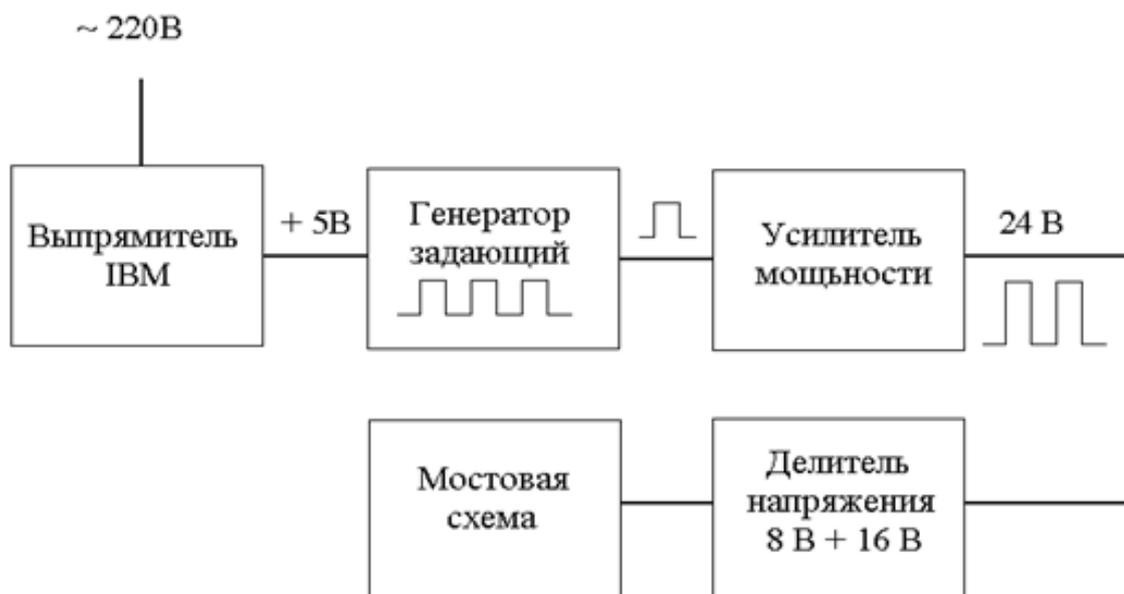


Рисунок 4. Структурная схема генератора измерительных импульсов

Стоит отметить, что посредством работы данного генератора осуществлялся нагрев нити (при измерении теплопроводности) или напылённого (при измерении тепловой активности) измерительного датчика, и съём данных для расчета теплофизических характеристик.

Задающий генератор работает на частоте 1 мГц. Импульсы с задающего генератора поступают на делители частоты для формирования измерительных импульсов с частотой 1 Гц и 1 кГц. Далее сигнал подается в мостовую схему на переменные сопротивления R_1 , R_2 , R_3 , R_4 , состоящие из декад сопротивлений с номиналами 0,01Ω; 0,1Ω; 1,0Ω; 10,0Ω, и измерительного и компенсационного датчиков R_x и R_3 , рисунок 3. С диагоналей моста импульсы подаются на входы операционного малошумящего усилителя с напряжением смещения в пределах 100 μV, включённого по схеме дифференциального усилителя. Одним из свойств данной схемы является относительная независимость выходного напряжения от сопротивления нагрузки. Регистрация сигналов с термодатчиков осуществлялась визуально, на цветном жидкокристаллическом дисплее осциллографа DPO 3014 фирмы «Tektronix». Необходимо сказать, что запуск осциллографа, который работает в режиме ждущей развертки синхронизировался с моментом подачи импульса, и опережал его на 0,15 мкс. При создании генератора импульсов использовались цифровые микросхемы серии MC-155, что позволяло формировать импульсы в большом диапазоне длительности и скважности без применения RC цепей.

Третья глава посвящена практическому применению методов экспресс-диагностики для изучения теплофизических характеристик диэлектрических жидкостей и содержит большой массив полученных экспериментальных данных. Были изучены чистые жидкости, классифицированные по водородным связям, см. таблицу, также бинарные и тройные системы, составленные из них. Изучалась зависимость коэффициента теплопроводности и тепловой активности от температуры для чистых веществ и концентрации для многокомпонентных систем.

Таблица. Классификация жидких растворов по Эвеллу

Класс	Характеристика соединений	Пример
1	2	3
1	молекулы связаны водородной связью	Этиленгликоль $C_4H_8O_2$ Дистиллированная вода H_2O
2	молекулы содержат активный водород и донор электронов (кислород, азот, фтор)	Бензол C_6H_6 Диметиланилин $C_6H_5N(CH_3)_2$ н-Бутанол C_4H_9OH Изопропиловый спирт (пропанол-2) $CH_3CH(OH)CH_3$ Метиловый спирт CH_3OH Пропиловый спирт (1-пропанол) C_3H_7OH Этанол C_2H_5OH
3	молекулы имеют донор электронов, но в них отсутствует активный водород	Дибутилфталат $C_{16}H_{22}O_4$ Диметилформамид $(CH_3)_2NC(O)H$ о-Ксилол C_8H_{10} (1,2-диметилбензол) Циклогексанон C_6H_{12}
4	молекулы содержат активный водород и не содержат донора электронов	Дихлорметан CH_2Cl_2 1,1-Дихлорэтэн $C_2H_2Cl_2$ 1,2-Дихлорэтэн $C_2H_4Cl_2$ Тетрахлорметан (четырёххлористый углерод) CCl_4 Хлороформ $CHCl_3$

1	2	3
5	молекулы без водородных связей	Бензин <i>Б-70</i> Гептан C_7H_{16} 1,4-диоксан $C_4H_8O_2$ Керосин Т-1 н-Гексан C_6H_{14} Тoluол C_7H_8 Циклогексан C_6H_{12}

В соответствии с данной классификацией была экспериментально изучена зависимость коэффициента теплопроводности органических жидкостей от температуры. Отдельные зависимости представлены на рисунке 5.

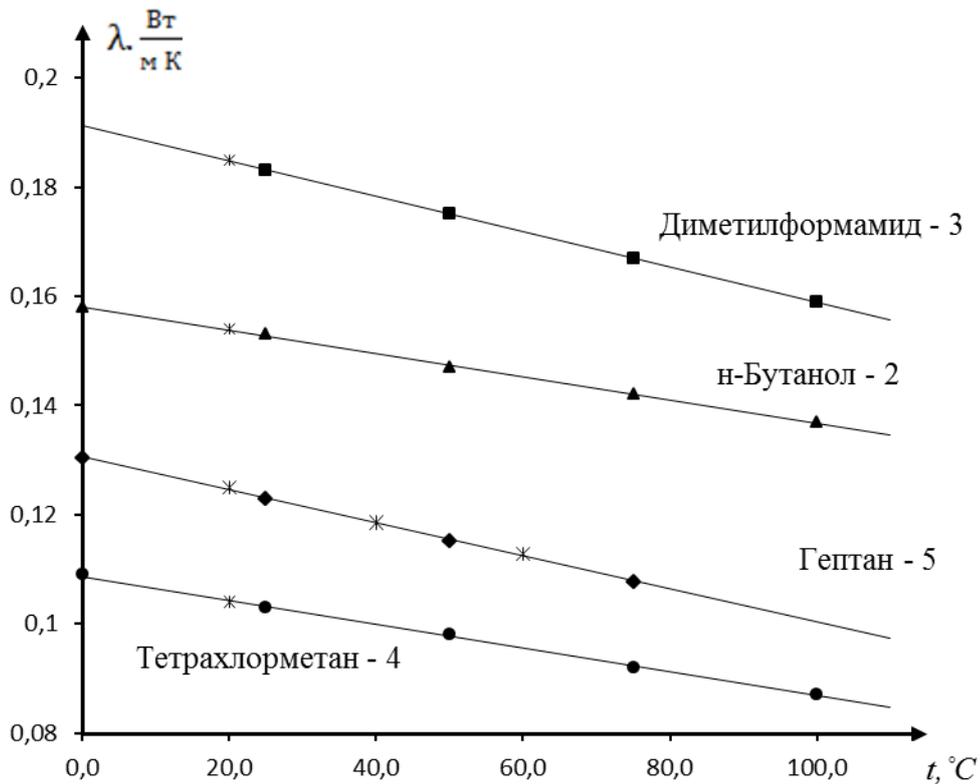


Рисунок 5. Зависимость теплопроводности жидкости от температуры

Экспериментальные данные отмечены точками, линия – это аппроксимационная зависимость, полученная методом наименьших квадратов. Точки, отмеченные *, взяты из справочной литературы.

Как мы видим, коэффициент теплопроводности линейно уменьшается с увеличением температуры, что полностью соответствует общепринятым представлением о переносе тепла. Характер зависимости связан с влиянием физических свойств исследуемых жидкостей. Для разных классов угол наклона различен. Следует отметить, что погрешность составляет не более 2%. К тому же мы видим, что наши экспериментальные данные хорошо согласуются с литературными значениями. Все это позволяет сделать заключение о достоверности результатов исследований по теплофизическим свойствам органических жидкостей, проводимых по разработанным нами методикам и созданном нами стенде.

Целью экспериментов с бинарными и тройными жидкостями являлось изучение влияния концентрации на коэффициент теплопроводности и тепловой активности, который отражает не только тепловые свойства вещества, но и зависит от плотности и теплоемкости вещества. На рисунке 6 приведены результаты исследования для одной из бинарных систем, созданной из жидкостей, относящихся к разным классификационным группам. Точки – это экспериментальные данные с относительной погрешностью 3%. Прямая линия – линия в классическом предположении теплопереноса. Кривая линия – это линия, построенная по рекомендованному нами соотношению для расчёта тепловой активности бинарных растворов органических жидкостей:

$$\varepsilon = \varepsilon_1(n_1) + \varepsilon_2(n_2) - K(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)n_1n_2,$$

где ε_1 и ε_2 тепловые активности чистых жидкостей, n_1 и n_2 – объемные концентрации компонентов, K – полуэмпирический коэффициент, зависящий от вида смешиваемых компонентов.

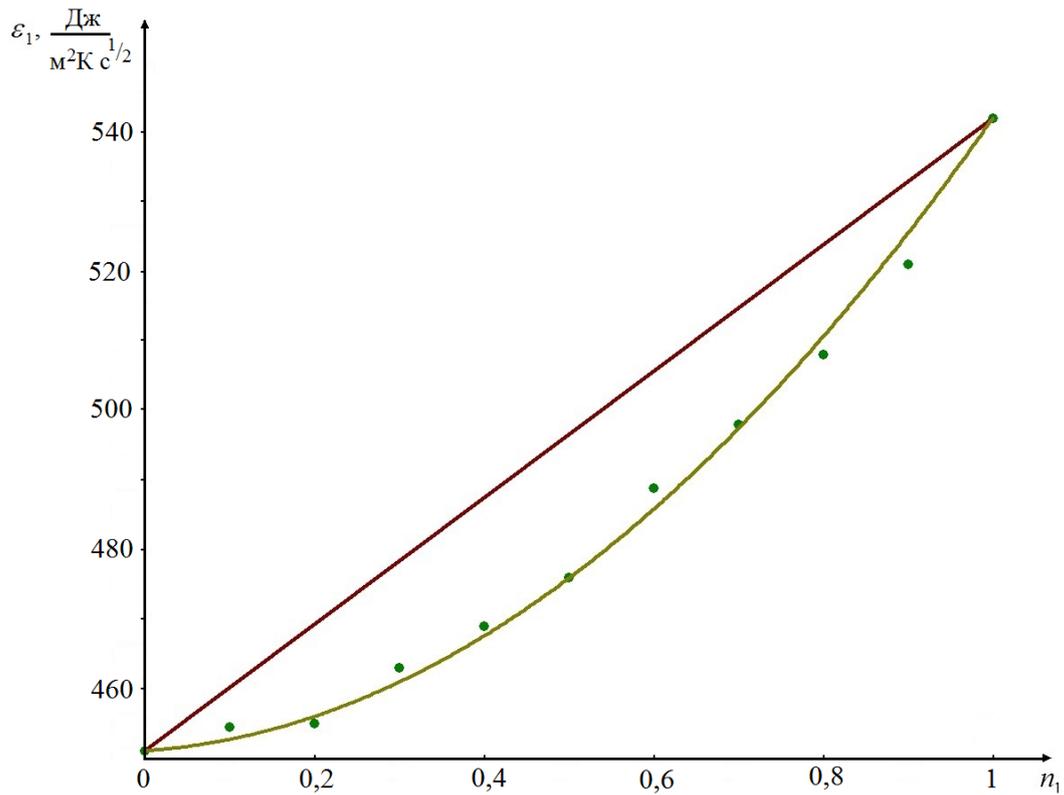
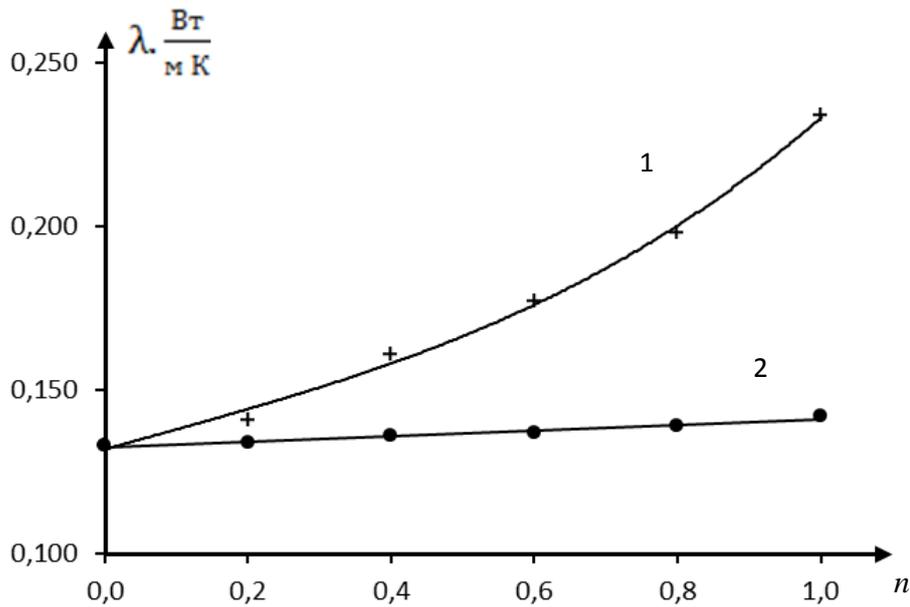


Рисунок 6. Тепловая активность н-Бутанола и н-Гексана от концентрации



1 - н-Гексана (5) – Циклогексанон (3) + Этиленгликоль (1)

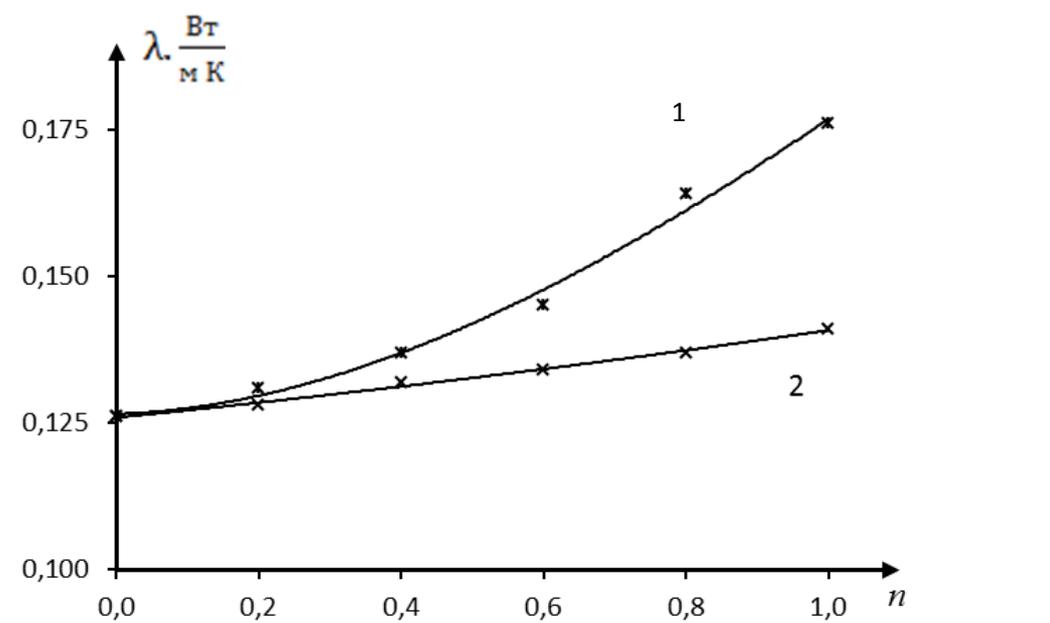
2 - н-Гексана (5) – Циклогексанон (3) + н-Бутанол (2)

Рисунок 7. Зависимость теплопроводности трехкомпонентной смеси от концентрации

Как видно из рисунка 6, полученное соотношение достаточно точно передаёт концентрационную зависимость тепловой активности бинарных растворов органических жидкостей.

На рисунке 7 и 8 проведены результаты исследования зависимости коэффициента теплопроводности трехкомпонентных жидкостей от концентрации смеси.

Как видно из рисунка 7, при увеличении концентрации н-Гексана в смеси теплопроводность жидкости увеличивается. Если система состоит из Циклогексанона + Этиленгликоля, характер зависимости нелинейный. Для смеси, состоящей из Циклогексанона и н-Бутанола, наблюдается линейное изменение.



1 - н-Гексана (5) – о-Ксилол (3) + Этиленгликоль (1)

2 - н-Гексана (5) – о-Ксилол (3) + н-Бутанол (2)

Рисунок 8. Зависимость теплопроводности трехкомпонентной смеси от концентрации

На рисунке представлены результаты исследования трехкомпонентной смеси, аналогичной рассмотренной выше. В этой системе Циклогексанон был заменен на о-Ксилол, состоящие в одной классификационной группе. Как можно видеть, характер зависимости практически не изменился, зато поменялись предельные значения. Аналогичные данные были получены нами и для жидкостей, компонентами которой являлись чистые вещества из таблицы 1. Такую зависимость теплопроводности трехкомпонентной смеси от концентрации, вероятно, можно объяснить проявлением реальных свойств смешивающихся компонентов, что в процессе передачи тепловой энергии помимо теплопроводности свой вклад вносит массоперенос.

Основные результаты работы

1. Исследованы теплофизические свойства более ста совершенно новых растворов органических жидкостей, которые могут применяться в авиакосмической, химической и энергетической отраслях промышленности.
2. На основе проведенных экспериментальных исследований получены зависимости коэффициента теплопроводности и тепловой активности от вида и концентрации компонентов бинарных и тройных жидкостей
3. Получено математическое соотношение для учёта отклонения от аддитивности при расчёте тепловой активности бинарных растворов.
4. Создан универсальный генератор измерительных импульсов и высокоомные датчики, с помощью которых модифицирован измерительный комплекс, позволяющий проводить измерения в широком диапазоне временных интервалов длительности теплового импульсного воздействия.
5. Усовершенствован экспресс-метод, основанный на методе иррегулярного теплового режима, позволяющий получать коэффициенты теплопроводности и тепловой активности органических диэлектрических жидкостей с погрешностью не более 3%.

6. На основе полученных результатов предложены рекомендации по практическому использованию созданного универсального генератора измерительных импульсов, с помощью которого модифицирован измерительный комплекс, позволяющий проводить измерения в широком диапазоне временных интервалов длительности теплового и измерительного импульсного воздействия.

Список публикаций соискателя по теме диссертации

I. Научные труды, опубликованные в ведущих рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России:

1. Спирин, Г.Г. Оценка влияния излучения на результат кратковременных измерений теплофизических характеристик полупроницаемых сред [Электронный ресурс]/ Д.В. Василевский, С.Ю. Побережский, Д.С. Симанков // Труды МАИ. ISSN: 1727- 6924 - 2012. - № 61 — Режим доступа: <http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=35612>

2. Побережский, С.Ю. Измерение теплофизических характеристик фторуглеродов импульсным методом [Электронный ресурс]/ С.Ю. Побережский, Д. С. Симанков // Современные проблемы науки и образования. - 2012. - № 6. — Режим доступа: <http://www.science-education.ru/106-7730>.

3. Симанков, Д.С. Критерий комфортности температурных ощущений медико-биологических объектов [Электронный ресурс]/ Д.С. Симанков, С.Ю. Побережский// Современные проблемы науки и образования. – 2012. - №6. – Режим доступа: www.science-education.ru/106-7725.

4. Побережский, С.Ю. Определение температур гомогенной нуклеации жидкостей [Электронный ресурс]/ С.Ю. Побережский, Д.С. Симанков// Современные проблемы науки и образования. — 2012. — № 6. — Режим доступа: <http://www.science-education.ru/106-7923>.

5. Побережский, С.Ю. Отклонение от аддитивности при расчёте тепловой активности бинарных растворов органических жидкостей [Электронный

ресурс]/ С.Ю. Побережский // Современные проблемы науки и образования. - 2014. - № 3. — Режим доступа: <http://www.science-education.ru/117-13800>.

6. Побережский, С.Ю. Теплопроводность бинарных растворов органических жидкостей по группам классификации Эвелла [Электронный ресурс]/ С.Ю. Побережский // Современные проблемы науки и образования. - 2014. - № 4 . — Режим доступа: <http://www.science-education.ru/118-13977>.

II. Другие научные труды, опубликованные по теме диссертации:

7. Побережский, С.Ю. Исследование теплопроводности бинарных и тройных водных растворов органических жидкостей/ С.Ю. Побережский. - Депонир. в ВИНТИ 28.05.2014 № 149 – В2014.

8. Побережский, С.Ю. Исследование теплопроводности бинарных растворов органических жидкостей/ С.Ю. Побережский. - Депонир. в ВИНТИ 02.06.2014 № - 150 В2014.

9. Побережский, С.Ю. Исследование теплопроводности тройных растворов органических жидкостей/ С.Ю. Побережский. - Депонир. в ВИНТИ 02.06.2014 № - 151 В2014.

10. Побережский, С.Ю. Универсальный генератор измерительных импульсов/ С.Ю. Побережский. - Депонир. в ВИНТИ 02.06.2014 № - 152 В2014.

11. Побережский, С.Ю. Учёт отклонения от аддитивности при расчёте тепловой активности бинарных растворов органических жидкостей/ С.Ю. Побережский. - Депонир. в ВИНТИ 02.06.2014 № - 153 В2014.

12. Побережский, С.Ю. Расчёт теплопроводности бинарных растворов органических жидкостей по группам классификации Эвелла/ С.Ю. Побережский. - Депонир. в ВИНТИ 02.06.2014 № - 154 В2014.

13. Побережский, С.Ю. Исследование теплопроводности бинарных растворов. Тезисы докладов. Материалы конференции – Международной школы

семинара – 2014. Физика в системе высшего и среднего образования России. / С.Ю. Побережский, М.:23-25 Июня 2014, с. 209.

14. Побережский, С.Ю. Генератор для измерения тепловых характеристик жидкости. Материалы IX международной теплофизической школы. Октябрь 2014/ Г.Г. Спирин, С.Ю. Побережский, И.В. Поярков, Душанбе, Москва, Тамбов, 2014, с. 172-174.

15. Побережский, С.Ю. Изучение различных аспектов, теплофизических свойств бинарных растворов органических жидкостей. Тезисы докладов. Материалы международной научно-практической конференции - Euroscience – 2014/ С.Ю. Побережский, И.В. Поярков. Material of science the, I international scientific and practical conference, Belgorod-Sheffield 2014, P 58-59.