

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 003.053.01 НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ
НАУКИ ИНСТИТУТА ТЕПЛОФИЗИКИ ИМ. С.С. КУТАТЕЛАДЗЕ
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК ПО
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЁНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК**

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 11.12.2019 г. № 15/2019

О присуждении Морозовой Марине Анатольевне, гражданке Российской Федерации, учёной степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Теплопроводность и вязкость наножидкостей» по специальности 01.04.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника принята к защите 02.10.2019 г., протокол № 14-1/2019, диссертационным советом Д 003.053.01 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук (ИТ СО РАН), 630090, г. Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева, 1, приказ о создании диссертационного совета №105/НК от 11.04.2012 года.

Соискатель Морозова Марина Анатольевна, 1990 года рождения, на момент защиты диссертации работает в должности младшего научного сотрудника в ИТ СО РАН. В 2013 г. соискатель окончила магистратуру Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Новосибирского государственного университета» (НГУ) по направлению «физика», в 2018 г. закончила очную аспирантуру ИТ СО РАН по специальности 01.04.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника.

Диссертация выполнена в Лаборатории разреженных газов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук. Научный руководитель – доктор физико-математических наук Новопашин Сергей Андреевич, заведующий Лабораторией разреженных газов № 4.1 ИТ СО РАН.

Официальные оппоненты: Дмитриев Александр Сергеевич, д.т.н., профессор кафедры низких температур, заведующий лабораторией теплофизики наноструктур ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ» Института тепловой и атомной энергетики и Зобов Константин Владимирович, к.ф.-м.н., младший научный сотрудник Лаборатории аэрофизических исследований дозвуковых течений ФГБУН Института теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация ФГБУН Институт теплофизики Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург, в своём положительном заключении, подписанном Скриповым Павлом Владимировичем, д.ф.-м.н., профессором, ведущим научным сотрудником Лаборатории быстропротекающих процессов и физики кипения ИТФ УрО РАН, указала, что «...Полученные в работе экспериментальные результаты могут быть использованы при адаптации синтезированных в лабораторных условиях

наножидкостей к технологическим условиям производства коммерческих продуктов. Описанный в работе комплексный подход может быть использован при исследовании теплофизических свойств наножидкостей другой природы», «...Результаты, представленные в диссертации, могут быть использованы в российских научных и образовательных организациях: ИТ и ИТПМ СО РАН, ИТФ и ИЭФ УрО РАН, СФУ, ТГУ, МГУ, МГТУ, МЭИ и др.».

Соискатель имеет 9 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 7, опубликованных в изданиях, рекомендованных ВАК, – 7, общим объемом 49 стр. Вклад автора состоял в подготовке и проведении всех представленных в работах экспериментов, обработке, анализе и интерпретации результатов, подготовке текста статей для публикации. Теоретический анализ был проведен в составе научного коллектива с непосредственным участием автора.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации (девичья фамилия соискателя Серебрякова):

1. С.А. Новопашин, М.А. Серебрякова, Р.Е. Соколов, А.В. Зайковский, А.В. Окотруб, Д.С. Новопашина, Теплопроводность наножидкости на основе воды и химически модифицированных одностенных углеродных нанотрубок // Российские нанотехнологии, № 1-2, 2013. С. 53 – 56.
2. Serebryakova M.A., Dimov S.V., Bardakhanov S.P., Novopashin S.A. Thermal conductivity, viscosity and rheology of a suspension based on Al₂O₃ nanoparticles and mixture of 90% ethylene glycol and 10% water // International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2015. – Т. 83. – С. 187-191.
3. Новопашин С.А., Серебрякова М.А., Хмель С.Я. Методы синтеза магнитных жидкостей // Теплофизика и аэромеханика. 2015. Т. 22. № 4. С. 411-427.
4. Sukhinin G. I., Serebryakova M. A., Novopashin S. A. Thermal Conductivity of Suspensions Based on Core-Shell Particles // Journal of Heat Transfer. – 2016. – Vol. 138, No. 6. – P. 064501.
5. Serebryakova M.A., Zaikovskii A.V., Sakhapov S.Z., Smovzh D.V., Sukhinin G.I., Novopashin S.A. Thermal conductivity of nanofluids based on hollow γ -Al₂O₃ nanoparticles, and the influence of interfacial thermal resistance // International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2017. – Т. 108. – С. 1314-1319.

На автореферат диссертации поступило 4 отзыва. Все отзывы положительные. В отзывах отмечено, что диссертация выполнена на высоком научном уровне, тема исследования является актуальной, результаты работы имеют теоретическую и практическую значимость, а предложенный в работе комплексный подход может быть использован при исследовании теплофизических свойств других наножидкостей. В отзыве к.ф.-м.н. Сызранцева В.В., заместителя директора по научной работе, ФГБУН Института физического материаловедения Сибирского отделения Российской академии, содержится пять замечаний: «1. На странице 14 автореферата приводится ссылка на работу Wang X., Xu X., Choi S.U.S. относительно описания механизма вязкости наножидкостей. В то же время в тексте самой диссертации ссылка идёт на работу других авторов. В указанной в автореферате работе этот вопрос не рассматривается. 2. Измерения вязкости наножидкостей производятся при скоростях сдвига от 25 до 250 с⁻¹.

Однако автор не указывает каков диапазон используемых скоростей сдвига в практически реализуемых тепловых машинах. Этот аспект сделал бы работу ещё более практически востребованной. 3. При построении рисунка 4, автор делает вывод о неньютоновском течении жидкости в капилляре на основе отклонения от линейного поведения зависимости скорости потока от перепада давления. Однако этот вывод ошибочен. Представленные на рисунке 4 (рис. 3.7 диссертации) зависимости линейны, хотя и не приходят в нулевую точку. Как видно из рисунка, нулевой скорости потока соответствует ненулевое значение перепада давления. Это говорит о дополнительном сопротивлении, создаваемом наночастицами находящимися в наножидкости, и зависящем от их концентрации, а вовсе не о неньютоновском течении. Кроме того, на рис. 4 неверно указана величина концентрации наночастиц, отличающаяся от величины концентрации на рис. 3.7 диссертации. 4. Никак не комментируется существенное различие зависимостей вязкости при измерении ротационным и капиллярным методами (рис. 5 автореферата и рис. 3.8 диссертации). Так, при концентрации наночастиц 1,2 и 0,9% расхождение составляет около 30%, а при концентрации 1,5 и 0% расхождения практически нет. 5. На рисунке 6 автореферата и рис. 3.10 диссертации проводится сопоставление зависимостей вязкости от концентрации наночастиц с данными других авторов. При ссылке на работу имеется путаница: по номеру ссылки указана работа Lee S. (1999), в легенде рисунка упоминается работа Choi (1999), которой нет в списке литературы. Вероятно эти данные из работы Wang X., Xu X., Choi S.U.S., упомянутой выше. Дополнительно нужно отметить неадекватный перенос данных из этой работы, так как рисунок 6 содержит результаты статьи Wang et al., полученные в разных условиях, что приводит к появлению двух необъяснимых точек на графике, имеющих существенное расхождение с остальной зависимостью.» В отзыве к.т.н. Скрыбина А.С., доцента кафедры Теплофизика ФГБОУ ВО «Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана» содержится одно замечание: «В качестве одного из результатов отмечено, что исследованные наножидкости не могут быть использованы в качестве реального эффективного теплоносителя. Было бы очень желательно всё-таки предложить такие теплоносители (на основе наножидкостей), которые хотя бы потенциально смогли выступить в качестве перспективных рабочих сред различных систем охлаждения». В отзыве к.ф.-м.н. Завьялова А.П., научного сотрудника Академического департамента ядерных технологий Школы естественных наук ФГАОУ ВПО «Дальневосточный федеральный университет», содержится пять замечаний: «1. В описании пункта 1.4 встречается фраза: "Затем Бэтчелор обобщил формулу Эйнштейна для более высоких концентраций частиц и для более мелких частиц". Насколько известно автору настоящего отзыва, Бетчелор не уделял особого внимания именно размеру частиц, поскольку это не имеет значения в рамках разработанной им модели – имеет значение только объёмная концентрация частиц. 2. Там же далее идёт отсылка к модели присоединённого слоя для описания повышенной вязкости наножидкостей. При ознакомлении с текстом диссертации становится ясно, что в этом месте подзащитная даёт отсылку к работе автора настоящего отзыва. Если текст автореферата и его связь с текстом диссертации мною разгадана верно, то немного странно называть присоединенный слой в этой модели двойным электрическим слоем,

поскольку эта модельная величина имеет куда больший порядок – около 10 нм. Более того, к настоящему моменту есть понимание, что данный слой не столько является действительно присоединенным, сколько слоем повышенной вязкости вследствие локального упорядочения воды у гидрофильной поверхности частицы. Последнее, впрочем, действительно сложно понять из обсуждаемой работы. 3. Немного странно выглядит применение термина «синтез» для исследованных в работе наножидкостей. Наножидкости в работе получены при добавлении просинтезированных частиц в жидкую среду. Однако в данном случае ни среда, ни частицы не претерпевают качественных фазовых или химических изменений, чтобы можно было говорить именно о синтезе наножидкостей. 4. Ни в автореферате, ни в диссертации не дано достаточно полного расхождения полученных ротационным и капиллярным методом данных, представленных на рис. 5. 5. Последнее замечание относится к представлению данных в самой диссертации в большей мере, чем к автореферату. Представляемые графики стилистически оформлены различным образом, нет единообразия в обозначениях, многие – низкого качества, из легенды не всегда сразу чётко понятно о чём идёт речь. На рис. 3.9 в диссертации на оси ординат отложен «Вклад реологических свойств, %» – малопонятно что же это на самом деле.». В отзыве д.ф.-м.н. Шеремета М.А., заведующего научно-исследовательской лабораторией моделирования процессов конвективного теплопереноса ФГАУ ВО «Национальный исследовательский Томский государственный университет», отмечено три замечания: «1. Из автореферата неясно, проводился ли экспериментальный анализ влияния материала наночастиц на теплоперенос в наножидкостях. 2. В настоящее время разработаны теоретические модели, описывающие транспортные процессы в наножидкостях. В частности, в двухкомпонентной неоднородной равновесной модели Buongiorno отмечается, что броуновская диффузия и термофорез являются определяющими механизмами переноса наночастиц внутри наносuspensions. Проводилось ли изучение влияния этих механизмов на процесс теплопереноса? 3. В последнее время появляется большое количество работ, посвященных изучению гибридных наножидкостей. Проводились ли соискателем исследования для таких сред?».

Выбор официальных оппонентов обосновывается тем, что д.т.н., профессор Дмитриев А.С. является одним из ведущих специалистов в области нанотеплофизики и наноэнергетики, к.ф.-м.н. Зобов К.В. является высококвалифицированным специалистом в области нанопорошков и вязкости наножидкостей, что позволяет провести критическую оценку диссертационной работы Морозовой М.А.. Выбор ведущей организации обоснован тем, что ее сотрудник д.ф.-м.н., профессор Скрипов П.В. является признанным специалистом в областях науки, непосредственно связанных с темой диссертации, является одним из разработчиков методики измерений теплопроводности наножидкостей, использованной в работе Морозовой М.А., и который может дать полноценную экспертную оценку научной и практической значимости результатов работы.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований с помощью развитых экспериментальных методик разработан новый комплексный подход в исследовании наножидкостей, основанный на совместном

исследовании теплопроводности и вязкости наножидкостей с учётом влияния теплового сопротивления Капицы на теплопроводность наножидкостей. Данный подход позволяет оценивать возможность применения наножидкостей в теплообменных устройствах. Предложен критерий подобия, описывающий тепловые процессы в наножидкостях. Получены новые экспериментальные данные о влиянии теплового сопротивления Капицы на теплопроводность наножидкостей.

Теоретическая значимость работы обоснована тем, что впервые решен ряд тепловых задач для наножидкостей и предложен безразмерный критерий подобия для описания тепловых процессов в наножидкостях. Решения данных задач и критерий подобия могут быть использованы как для теоретического описания тепловых процессов в наножидкостях, так и для интерпретации экспериментальных исследований других наножидкостей.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что предложенный в работе метод совместного исследования теплопроводности и вязкости наножидкостей может быть использован в научных и образовательных целях для экспериментального исследования теплофизических свойств наножидкостей. Полученные экспериментальные данные по теплопроводности, вязкости и реологии наножидкостей могут быть использованы при проектировании теплообменных устройств и систем охлаждения. Предложенный безразмерный критерий подобия позволяет оценить вклад теплового сопротивления Капицы в экспериментальных исследованиях теплопроводности наножидкостей. Результаты теоретического и экспериментального исследования влияния контактного теплового сопротивления Капицы на теплопроводность наножидкостей могут быть использованы для исследования других наножидкостей и могут быть рекомендованы к использованию в научных и образовательных организациях, в которых проводятся исследования теплофизических свойств наножидкостей, в частности, в ИТ СО РАН, ИТПМ СО РАН, ИТФ и ИЭФ УрО РАН, СФУ, ТГУ, МЭИ, МГТУ и др.

Оценка достоверности исследований выявила, что эксперименты проведены с использованием современных апробированных методов измерений, проведены все необходимые калибровочные измерения, проведён анализ неопределённостей измерений, показана воспроизводимость полученных результатов исследования и проведено сравнение с экспериментальными и теоретическими данными других исследователей.

Личный вклад соискателя состоит в постановке и выполнении экспериментов по определению теплопроводности, вязкости и реологических свойств наножидкостей. Автором лично проведены обработка, обобщение и интерпретация данных, полученных в данном исследовании. Теоретический анализ проведен в составе научного коллектива с непосредственным участием соискателя. Постановка задач исследований осуществлена соискателем совместно с научным руководителем д.ф.-м.н. С.А. Новопашиным.

Диссертационным советом сделан вывод о том, что диссертация Морозовой Марины Анатольевны представляет собой научно-квалификационную работу, в которой содержится экспериментальное и теоретическое исследование теплопроводности и

вязкости наножидкостей, имеющее существенное фундаментальное и практическое значение в изучении теплофизических свойств веществ, и соответствует критериям, установленным п.9 "Положения о порядке присуждения ученых степеней", утверждённого постановлением Правительства РФ №842 от 29.04.2013 г.

На заседании 11 декабря 2019 года диссертационный совет принял решение присудить Морозовой Марине Анатольевне ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника. При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 20 человек, из них 5 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 26 человек, входящих в состав совета, проголосовали за 20, против 0, не действительных бюллетеней 0.

Председатель
диссертационного совета,
д.ф.-м.н., академик РАН



Алексеев Сергей Владимирович

Учёный секретарь
диссертационного совета,
д.ф.-м.н.

Кузнецов Владимир Васильевич

«13» декабря 2019 г.