

О Т З Ы В

официального оппонента на диссертацию Гузей Дмитрия Викторовича
«Исследование вынужденной конвекции наножидкостей», представленной на соискание
ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 «Механика
жидкости, газа и плазмы»

Диссертационная работа посвящена экспериментальному и численному исследованию интенсификации конвективного теплообмена в гладких и структурированных дискретными усилителями теплообмена (накатка и сферические упорядоченные выступы) трубах при прокачке наножидкостей, в том числе при влиянии неоднородного магнитного поля. Тематика работы, связанная с микро- и нанофлюидикой, актуальная. Это сегодня абсолютно топовое направление в мировых теплофизических исследованиях с наибольшим количеством публикаций в высокорейтинговых научных изданиях. Проблематика диссертации фундаментальная. Помимо многопрофильного экспериментального исследования предложена и верифицирована оригинальная расчетная модель трубного течения и теплообмена магнитных наножидкостей в неоднородном магнитном поле в рамках подхода URANS с использованием SST-модели турбулентности. Работа согласуется с Перечнем основных направлений технологической модернизации РФ (1. Энергоэффективность и энергосбережение, в том числе вопросы разработки новых видов топлива). Проблематика диссертации находится в русле приоритетных направлений развития науки, технологий и техники РФ (8. Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика) и связана с разработкой критических технологий РФ (26. Технологии создания энергосберегающих систем транспортировки, распределения и использования энергии). Диссертация выполнена в известной новосибирской научной школе проф. Рудяка В.Я. и его быстро растущего ученика доктора Минакова А.В. Работа поддержана грантами РФФИ (№№18-48-243016 р_мол_а и 16-48-243061 р_мол_а). Таким образом, представленную диссертацию можно признать актуальной.

Научная новизна работы несомненна.

1. На созданной оригинальной экспериментальной установке систематически рассмотрены потоки суспензий с четырьмя видами наночастиц оксидов магния, кремния, циркония и железа. Делаются заключения об их тепловой и теплогидравлической эффективности в круглых трубах, в том числе с учетом влияния неоднородных магнитных полей.
2. Продемонстрировано усиление тепловой эффективности в гладких и структурированных интенсификаторами теплообмена трубах при использовании суспензий из наночастиц.
3. Обнаружено, что интенсификация теплообмена в круглых трубах с прокачкой наножидкостей может быть эквивалентной по величине теплосъема с применением поверхностных интенсификаторов теплообмена.
4. Открыт эффект кластеризации ферромагнитных наночастиц с образованием отложений на стенках трубы при воздействии неоднородных магнитных полей, сопровождающийся значительным усилением теплообмена в трубах.
5. Разработана гомогенная математическая модель течения намагниченных наножидкостей и конвективного теплообмена в гладких трубах в неоднородном магнитном поле, создан и верифицирован расчетный код.

Автор позволил себе сформулировать, что им получен «значительный объем научной новизны» и с этим утверждением можно согласиться.

Квалификационная состоятельность работы как кандидатской диссертации по физико-математическим наукам по специальности 1.1.9 не вызывает сомнений.

Практическая значимость работы определяется экспериментальным обоснованием применения наножидкостей для интенсификации конвективного теплообмена, однако технологическим прорывов пока не отмечается.

Апробация работы выдающаяся. Перечень публикаций включает статьи в следующих журналах: ИФЖ2019,2022, Int.J.NMT2017,2017,2019, АТЕ2015, ПЖТФ2014, ТВТ2015, МЖГ2016, Теплофизика и Аэромеханика 2016. Кандидатский уровень перекрыт многократно.

Структура диссертации состоит из введения, пяти глав, заключения, перечня литературных источников. Введение повествует об объекте исследования и его актуальности, о целях и структуре работы. Первая глава обзорная. Отмечается недостаток систематических исследований тепловой и теплогидравлической эффективности потоков наножидкостей в трубах и каналах, причем не делается акцента на геометриях объектов. Во второй главе представляется методология физического и численного моделирования конвективного теплообмена в гладких и структурированных трубах, в том числе описывается экспериментальная установка и средства измерений. Третья глава посвящена исследованию интенсификации теплообмена в гладких трубах при прокачке суспензий с наночастицами оксидов кремния и марганца. В четвертой главе рассматривается интенсификация теплообмена в гладких и структурированных трубах при прокачке воды и суспензии с наночастицами оксида циркония. Трубы с дрейцеровской накаткой (обвальцовкой) и упорядоченными сферическими выступами применяются. Пятая глава посвящена поиску эффективных способов интенсификации теплообмена при прокачке наножидкостей и акцентирует внимание на воздействии магнитного поля на суспензии с ферромагнитными наночастицами. Она также содержит материал по численному моделированию, результаты которого хорошо согласуются с полученными экспериментальными данными. В заключении приводится перечень выводов. В списке литературных источников имеется 67 наименований.

Работа производит сильное впечатление. Тематика действительно впечатляющая. Исследование очень четко поставлено и структурировано. Акцент на интенсификации теплообмена при прокачке суспензий из наножидкостей сохраняется на всем протяжении исследований. Несколько в тень ушли важные вопросы определения вязкости и теплопроводности суспензий, как видимо уже решенные в предыдущих работах научной школы. Достоинств у работы множество. Этим объясняется обилие публикаций, в которых принял участие автор. Еще раз подчеркну об очевидной квалификационной оценке диссертации. Она очень высокого уровня, вызывает уважение и восхищение. Интерес к работе стимулировал возникшие вопросы и замечания, многие из которых призваны способствовать развитию дальнейших исследований. Сделана попытка их сгруппировать по главам.

- 1. В обзоре 1 главы фигурирует цифра интенсификации теплообмена: 252% роста теплоотдачи для MgO - это реально? Обычные цифры 40-45%. В [24] показан 300% рост тепловой эффективности для наночастиц оксида кремния, а как обстоит дело с гидравлическими потерями? ($Re=30000$). Странные цифры приведены по работе [35]. Как можно серьезно воспринимать тепловую эффективность 30.96% и рост гидравлических потерь в 10.01%? Имеются ввиду десятые и сотые после запятой.**
- 2. Во второй главе фигурирует погрешность результатов эксперимента, отсутствующая в ГОСТах. Должна быть оценена неопределенность экспериментальных данных. Вычислительная кухня (размер пристеночного шага - u^+ , граничные условия**

для характеристик турбулентности, дискретизация членов уравнений) не описана. Осесимметричная постановка задачи во 2 главе неправомерна, т.к. в 5 главе решается нестационарная и трехмерная задача.

3. В третьей главе наночастицы оксидов алюминия оказались предпочтительными по критерию роста тепловой эффективности по сравнению с наночастицами оксидов кремния (стр.81). Почему?
 - 4.1. В 4 главе при рассмотрении труб с поверхностными интенсификаторами теплообмена не хватает ссылок на работы Г.А.Дрейцера и обоснования выбора упорядоченных выступов. Почему в 3 главе исследуются оксиды алюминия и кремния, а в главе 4 оксид циркония?
 - 4.2. 40% роста теплоотдачи для 44нм, а если бы размер наночастиц был меньше? При этом гидравлические потери растут на 80%. Кстати, для 105нм получается все неплохо - 27% - рост теплоотдачи при 25% росте гидравлических потерь.
 - 4.3. Постановка задачи оценки интенсификации теплообмена не вполне правильная. Надо было показать суммарный выигрыш по тепловой и теплогидравлической эффективности по сравнению с гладкими трубами! Странно, но сферические выступы дают более скромные результаты как по теплообмену, так и, что более удивительно и не вполне понятно, по гидравлическим потерям. Хотелось бы понять причины таких различий. Ведь накатка по теплогидравлической эффективности по идее должна существенно уступать сферическим выступам! Накатка дает 85% роста теплоотдачи для воды без наночастиц. А сферические выступы только 30%. А гидравлические потери растут на 80% и 40% соответственно. Поэтому Таблица 4.1 некорректная. Следовало сравниваться с гладкой трубой и водным теплоносителем без наночастиц!
 - 4.4. То, что наножидкости в гладких каналах позволяют получить теплогидравлическую эффективность, сопоставимую со случаем прокачки воды в трубах с поверхностными интенсификаторами теплообмена - это хороший и интересный вывод, однако он не затрагивает физической природы эффектов. Да и обобщение интенсификаторов различных типов все-таки неправомерно. Накатка характеризуется двукратным ростом гидравлических потерь по сравнению со сферическими выступами!
 - 4.5. Вывод о нецелесообразности использования наножидкостей в каналах с поверхностными интенсификаторами теплообмена не вполне обоснован. Теплогидравлическая эффективность накатки низкая, потому что накатка должна обеспечить предельно высокую - на порядок отличающуюся от гладких труб - тепловую эффективность при опережающем росте гидравлических потерь. Поэтому надо было аккуратнее поработать со сферическими выступами. Неправильный посыл вызвал не вполне нормальный вывод. По сравнению с обычным вариантом - гладкая труба и чистая вода применение накатки может вызвать усиление теплосъема примерно в 2.5 раза. Это немного, но и исходный вариант очень далек от тех, которые рекомендованы Дрейцером.
5. Методология исследования для магнитогидродинамики и теплообмена в трубах с магнитами существенно трехмерная. Насколько в этом случае правомерна по существу одномерная схема измерений, принятая во 2 главе. Расчеты в 5 главе не описаны в деталях. Все-таки надо было отразить разрешение пристеночных слоев. И влияние магнитных полей на турбулентность в модели Менстера не учитывается.

Постановки задачи в пятой главе нет. Кстати, рисунок 5.35 без номера (между в) и г)) содержит единственную в работе аксонометрическую картинку распределения температуры по трубе, которая свидетельствует о проведенном трехмерном расчете. Никаких подробностей проведенных расчетов, касающихся выбора временного шага, моделируемого процесса, обоснования сеточной сходимости, не представлено. Кстати, нет расчета гидравлических потерь. Странно, но вихреобразование в исследовании не изучено. И вообще вторичное течение не анализируется, что выглядит странным. Возник естественный вопрос о пределах применимости матмодели.

Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

Таким образом, представленная диссертационная работа является законченным экспериментальным и расчетным исследованием интенсификации конвективного теплообмена в гладких круглых и структурированных трубах при прокачке суспензий с наночастицами, в том числе с учетом влияния неоднородного магнитного поля. Выполненная работа удовлетворяет квалификационным требованиям, предъявляемым ВАК России к кандидатским диссертациям, в том числе соответствует требованиям п.9 "Положения о присуждении ученых степеней", а ее автор Гузей Д.В. заслуживает присвоения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 «Механика жидкости, газа и плазмы».

Заведующий лабораторией фундаментальных исследований Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации,
доктор физико-математических наук по специальности 01.02.05 механика жидкости, газа и плазмы, профессор

23 мая 2022 года

Сергей Александрович

isaev3612@yandex.ru 196210, СПб, Пилотов, 38, info@spbguga.ru, 9214045516

Подпись профессора Исаева С.А. удостоверяю

Проректор по науке и цифровизации

Г.А. Костин

Председателю
диссертационного совета
Д 003035.02
академику В.М. Фомину

ЛИЧНОЕ СОГЛАСИЕ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

Я, Исаев Сергей Александрович, даю свое согласие выступить в качестве официального оппонента по диссертации Гузей Дмитрия Викторовича на тему: Исследование вынужденной конвекции наножидкостей на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 – механика жидкости, газа и плазмы.

О себе сообщаю:

Ученая степень, отрасли науки	Д.ф.-м.н.
Научные специальности, по которым защищена диссертация	01.02.05- механика жидкости, газа и плазмы
Ученое звание	Профессор
Академическое звание	-
Тел:	8 (812) 704 1892
E-mail:	isaev3612@yandex.ru
Должность	Заведующий
Подразделение организации	Научно-исследовательская лаборатория фундаментальных исследований
Полное наименование организации, являющейся основным местом работы	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации» (ФГБОУ ВО СПбГУ ГА)
Ведомственная принадлежность орг.	Учредителем Университета является Российская Федерация. Полномочия учредителя осуществляет Федеральное агентство воздушного транспорта
Адрес служебный: Почтовый индекс, город, улица, дом	196210, г. Санкт-Петербург, ул. Пилотов, д. 38
Web-сайт организации.	http:// spbguga.ru /
Телефон организации.	8 (812) 704-18-18
E-mail организации.	info@spbguga.ru

По теме рассматриваемой диссертации имею 14 научных работ, в том числе в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет (не более 15 работ):

№	Авторы	Название статьи, журнал, год, том, №, страницы
1	Исаев С.А., Леонтьев А.И.,	Интенсификация отрывного течения в наклонных однорядных овально-траншейных лунках на стенке узкого канала // Инженерно-

	Никущенко Д.В., Судаков А.Г., Усачов А.Е.	физический журнал, -2021. -Т. 94. -№ 1. -С. 160-168.
2	Isaev S., Nikushchenko D., Sudakov A., Tryaskin N., Egorova A., Iunakov L., Usachov A., Kharchenko V.	Numerical simulation of a periodic quasi-switching mode of flow around a conical dimple with a slope angle of 10 degrees on the wall of a narrow channel using urans // Fluids, 2021, -Vol. 6(11), -P.385.
3	Isaev S., Nikushchenko D., Sudakov A., Tryaskin N., Egorova A., Iunakov L., Usachov A., Kharchenko V.	Standard and modified SST models with the consideration of the streamline curvature for separated flow calculation in a narrow channel with a conical dimple on the heated wall // Energies, 2021, -Vol.14(16), № 5038.
4	Isaev S.A., Leont'ev A.I., Nikushchenko D.V., Sudakov A.G., Usachov A.E.	Intensification of the Detached Flow in a Single Row of Inclined Oval Trench Dimples on the Wall of a Narrow Channel // Journal of Engineering Physics and Thermophysics, 2021, -Vol.94(1), -Pp. 151-159.
5	Isaev S.A., Mazo A.B., Nikushchenko D.V., Popov I.A., Sudakov A.G.	The Influence of the Angle of Inclination of Single-Row Oval-Trench Dimples in the Stabilized Hydrodynamic Section of a Narrow Channel on the Anomalous Intensification of the Separated Turbulent Flow // Technical Physics Letters, -2020, -Vol.46(11), -Pp.1064-1067.
6	Mironov A.A., Isaev S.A., Popov I.A., Aksyanov R.A., Skrypnik A.N.	Improving the Efficiency of Aircraft Heat Exchangers // Russian Aeronautics, -2020, -Vol.63(1), -Pp. 147-154.
7	Isaev S.A., Gritkevich M.S., Leontiev A.I., Milman O.O., Nikushchenko D.V.	NT Vortex enhancement of heat transfer and flow in the narrow channel with a dense packing of inclined one-row oval-trench dimples // International Journal of Heat and Mass Transfer, 2019, -Vol. 145, № 118737.
8	Isaev S.A., Sudakov A.G., Chorny A.D., Zhukova Y.V., Usachov A.E.	Heat Transfer Enhancement in a Microtube with an In-Line Package of Spherical and Inclined Oval-Trench Dimples during Transformer-Oil Pumping // High Temperature, 2019, -Vol.57(6), -Pp. 885-888.
9	Isaev S.A., Chorny A.D., Zhukova Y.V., Vysotskaya A.A., Kharchenko V.B.	Vortex Intensification of Heat Transfer in Channels and Pipes with Periodic Elements of Discrete Roughness // Journal of Engineering Physics and Thermophysics, 2019, -Vol.92(6), -Pp. 1509-1516.
10	Isaev S.A., Gritkevich M.S., Leontyev A.I.,	Turbulent flow acceleration and abnormal intensification of the separated flow in a channel with dense arrangement of inclined single-row oval-trench dimples // Thermophysics and Aeromechanics, 2019, -Vol.26(5), -

	Milman O.O., Nikushchenko D.V.	Pp. 651-656.
11	Isaev S.A., Gritkevich M.S., Leontiev A.I., Popov I.A., Sudakov A.G.	Anomalous Intensification of a Turbulent Separated Flow in Inclined, Single-Row, Oval-Trench Dimples on the Wall of a Narrow Channel // High Temperature, 2019, -Vol.57(5), -Pp. 771-774.
12	Isaev S., Leontiev A., Chudnovsky Y., Nikushchenko D., Popov I., Sudakov A.	Simulation of vortex heat transfer enhancement in the turbulent water flow in the narrow plane-parallel channel with an inclined oval-trench dimple of fixed depth and spot area // Energies, 2019, -Vol.12(7), -№ 1296
13	Isaev, S.A., Baranov, P.A., Leontiev, A.I., Popov, I.A.	Intensification of a Laminar Flow in a Narrow Microchannel with Single-Row Inclined Oval-Trench Dimples // Technical Physics Letters, 2018, -Vol.44(5), -Pp. 398-400
14	Isaev S.A., Schelchikov A.V., Leontiev A.I., Gortyshov Y.F., Baranov P.A., Popov I.A.	Vortex heat transfer enhancement in the narrow plane-parallel channel with the oval-trench dimple of fixed depth and spot area // International Journal of Heat and Mass Transfer, 2017, -Vol.109, -Pp. 40-62.

Не являюсь членом экспертного совета ВАК

Согласен на включение моих персональных данных в аттестационное дело соискателя и их дальнейшую обработку.

Дата « 11 » февраля 2022 г.

Заведующий научно-исслед
лаборатории фундаментальн
исследований, д.ф-м.н, проф

Исаев Сергей
Александрович

Подпись С.А. Исаева заверя
Проректор по науке и цифро
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербур
государственный университ
гражданской авиации»

Костин Геннадий
Александрович