

## ОТЗЫВ

Официального оппонента на диссертационную работу  
Мишина Алексея Владимировича «Формализм обобщенной производной для  
анализа гетерогенных материалов», представленной на соискание ученой  
степени кандидата физико-математических наук по специальности  
1.1.9 – механика жидкости, газа и плазмы, 1.1.8 – механика деформируемого  
твердого тела

Гетерогенные среды охватывают чрезвычайно широкий класс встречающихся в природе и в промышленных технологиях сред. Не особенно преувеличивая, можно сказать, что гетерогенными являются все среды и материалы, окружающие нас. Дисперсной газозвесью является атмосфера, вода в водоемах также является, вообще говоря, гетерогенной средой. Гетерогенными средами являются используемые сегодня сплавы. Этот перечень легко продолжить. Современное материаловедение, ориентированное на создание новых необычных наноматериалов, различных композитов, также имеет дело с гетерогенными средами. Создание теории таких сред, как жидких и газообразных, так и твердых, имеет более чем вековую историю. Здесь появилось огромное число и статей, и содержательных монографий. Тем не менее нельзя сказать, что проблема исчерпывающе решена. Связано это с тем, что такая исчерпывающая теория должна сформулировать не только соответствующие уравнение переноса, описывающие динамику гетерогенных сред. Эта задача достаточно легко решается и можно сказать, что уже решена в самых разных приближениях. Сложность состоит в формулировке соответствующих определяющих соотношений и выводе, замыкающих их коэффициентов переноса. Последние, строго говоря, имеют молекулярную природу. Поэтому построение теории процессов переноса гетерогенных сред предполагает сочетание и молекулярного, и микроскопического уровней описания. В результате данная проблема до сих пор исчерпывающе решена только для некоторых классов сред. Однако и в этих случаях вычисление коэффициентов переноса является нетривиальной проблемой.

Диссертационная работа Мишина А.В. посвящена разработке математической модели гетерогенной среды, в которой одновременно определяются эффективные коэффициенты переноса. Таким образом, тематика данной диссертационной работы, безусловно, **актуальна**.

Во **введении** формулируется цель работы и решаемые в ней задачи. Обсуждается ее научная новизна и практическая значимость. Цель работы, однако, сформулирована чрезвычайно многословно. Не ясно также, что автор имеет в виду говоря «среда, эффективные коэффициенты переноса которой интегрально учитывают ее микроструктуру и коллективный вклад фаз в распространение по ней поля». Какого поля? Строго говоря, коэффициенты переноса действительно будут определяться структурой среды, но не могут зависеть от внешнего «поля». Наконец, личный вклад должен быть прописан

детальнее. В частности, в работе [6] у автора много соавторов, вклад которых не ясен, не ясен и вклад в эту работу диссертанта.

**Глава 1** носит обзорный характер. Однако она не структурирована. В результате превращается в набор плохо связанных между собой подходов, прописанных достаточно поверхностно. Упоминаются, например, модели Эйнштейна и Максвелла, но отсутствуют более современные теории, которые учитывают ряд других эффектов и позволяют продвинуться в сторону значительно больших концентраций. Затем во всех случаях рассматривается лишь так называемый одножидкостный (смесевой) режим, использование которого имеет вполне определенные границы применимости, о которых ничего не говорится. Кроме того, здесь в принципе не рассмотрены возможные микроскопические подходы, которые в определенной мере и являются самыми последовательными для определения коэффициентов переноса гетерогенных сред.

**Глава 2** является центральной в диссертации. Здесь формулируется основа используемой в дальнейшем модели. Для этой цели используется обобщенная производная и затем некоторая достаточно специфическая процедура гомогенизация гетерогенной среды. При этом исходным пунктом являются уравнения переноса, характер которых никак не обсуждается. Строго говоря, использование в них обобщенных производных следует доказывать. В разделе 2.1 обсуждается использование обобщенной производной для интегрального учета микроструктуры гетерогенной системы, в разделе 2.2 – ее учет на процесс гомогенизации, а в разделе 2.3 – на процесс гомогенизации в упругих гетерогенных средах.

В **главе 3** предлагаемая методика вывода эффективных коэффициентов переноса гетерогенной среды обобщается на пространство произвольной размерности. Такая задача автором мотивируется наличием «эффективного числа внутренних степеней свободы, определяющих распространение поля упругости по гетерогенной среде», хотя и выглядит достаточно формальной. Тем не менее нет содержательных примеров применения выведенных выражений при размерности пространства  $n > 3$ . С другой стороны, на стр. 96 автор делает странный вывод, который трудно перевести на русский язык: «при концентрации  $c_2 = 0,5 \dots$  происходит перколяция поля упругости по твердой фазе в структуре». Что такое перколяция поля упругости? Физически также не очень ясно чем вызвано наличие критической точки с существенно различным поведением фаз в ее окрестности. Не ясно, что автор имеет в виду под структурным фазовым переходом от «несвязного распространения поля по системе к макроскопически связному» (стр. 110).

В **главе 4** результаты развиваемой теории сопоставляются с экспериментальными данными. В разделе 4.1 изучены упругие свойства материала, полученного методом холодного газодинамического напыления с лазерной обработкой. В разделе 4.2 рассмотрены упругие свойства гетерогенного материала на основе титановых сплавов. В разделе 4.3 результаты для упругих свойств обобщены на вязкоупругие.

В **заключении** формулируются основные полученные результаты.

Подводя итог, необходимо отметить, что данная диссертационная работа является **новым подходом** для построения механики гетерогенных материалов. Оригинальность использования для этой цели обобщенных производных не вызывает сомнений. Автор при этом демонстрирует высокую математическую культуру, хорошее знание и понимание механики деформируемого твердого тела и механики жидкости и газа.

**Достоверность** полученных результатов подтверждена многочисленными сопоставлениями с известными результатами и теориями. Вместе с тем автору не удалось продемонстрировать эффективность развиваемой теории при существенном параметре  $\gamma \neq 1$ . Другим недостатком является достаточно формальный подход к сложной физической задаче. В частности, не делается даже попытки обсудить возможные механизмы фиксируемого нестандартного поведения гетерогенной среды. Недостатком является отсутствие четкого обсуждения границ применимости и ограничений предлагаемого подхода. К сожалению, отсутствуют и какие-либо содержательные результаты для дисперсных жидкостей, хотя во введении автор на них замахивается.

Тем не менее необходимо еще раз отметить, что задачи, решенные в диссертации, сложные и здесь действительно получены новые и интересные результаты. Основные результаты диссертации хорошо опубликованы и уже известны в стране. Автореферат отражает содержание диссертации. Диссертационная работа Мишина А.В. соответствует паспортам научных специальностей 1.1.9 – механика жидкости, газа и плазмы (по пунктам 20 и 23) и 1.1.8 – механика деформируемого твердого тела (по пунктам 2, 3, 11), а ее автор заслуживает присвоения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 – механика жидкости, газа и плазмы и 1.1.8 – механика деформируемого твердого тела.

Доктор физико-математических наук, профессор  
Главный научный сотрудник Регионального академического научно-образовательного центра Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета (Сибстрин)

Рудяк Валерий Яковлевич

05 апреля 2023 г.

Контактные данные:

тел.: +7 (383) 266-80-14, rudyak@sibstrin.ru

Адрес места работы: 630008, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, 113. Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

Тел.: +7 (383) 266-41-25, e-mail: rect



Председателю  
диссертационного совета  
24.1.125.01 (Д 003035.02)  
академику В.М. Фомину

### ЛИЧНОЕ СОГЛАСИЕ ОППОНЕНТА

Я, Рудяк Валерий Яковлевич, даю свое согласие выступить в качестве оппонента по диссертации Мишина Алексея Владимировича соискателя на тему: Формализм обобщенной производной для анализа гетерогенных материалов на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 – механика жидкости, газа и плазмы, 1.1.8 – механика деформируемого твердого тела.

О себе сообщаю:

Ученая степень, отрасли науки	Д.ф.-м.н.
Научные специальности, по которым защищена диссертация	1.1.9- механика жидкости, газа и плазмы
Ученое звание	профессор
Академическое звание	
Тел:	8 (913) 913 7970
E-mail:	valery.rudyak@mail.ru
Должность	главный научный сотрудник
Подразделение организации	Региональный академического научно-образовательный центр Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета
Полное наименование организации, являющейся основным местом работы	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)»
Ведомственная принадлежность орг.	Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Адрес служебный: Почтовый индекс, город, улица, дом	Ул. Ленинградская, 113, Новосибирск, Новосибирская обл., 630008
Web-сайт организации.	http://sibstrin.ru
Телефон организации.	8 (383) 266-41-25
E-mail организации.	rector@sibstrin.ru

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

№	Авторы	Название статьи, журнал, год, том, №, страницы
1	V.Ya. Rudyak, G.R. Dashapilov, A.V. Minakov, M.I. Pryazhnikov	“Comparative characteristics of viscosity and rheology of nanofluids with multi-walled and single-walled carbon nanotubes”, Diamond & Related Materials, 132 (2023) 109616
2	В. Я. Рудяк, А. В. Минаков, М. И. Пряжников, Д. В. Гузей	“Измерение теплопроводности и коэффициента теплоотдачи наножидкостей с одностенными нанотрубками”, ТВТ, 60:5 (2022), 692–700

3	A. Belkin, V. Rudyak, S. Krasnolutskiï	"Molecular dynamics simulation of carbon nanotubes diffusion in water", Molecular Simulation, 48:9 (2022), 752–759
4	A.S. Lobasov, A.V. Minakov, V.Y. Rudyak	"The investigation of the velocity slip and the temperature jump effect on the heat transfer characteristics in a microchannel", Case Studies in Thermal Engineering, 31 (2022), 101791
5	В.Я. Рудяк, Е.В. Лежнев, Д.Н. Любимов	"Об анизотропии процессов переноса газа в нано- и микроканалах", Вестник СПбГУ. Математика, Механика, Астрономия, 9:1 (2022), 152–163
6	В.Я.Рудяк, Г.Р. Дашапилов, А.В. Минаков, М.И. Пряжников	"Вязкоупругие свойства наножидкостей с углеродными трубками", Письма в ЖТФ, 48:14 (2022), 3–6.
7	A.V. Minakov, V.Ya. Rudyak, M.I. Pryazhnikov	"Systematic experimental study of the viscosity of nanofluids", Heat Transfer Engineering, 42:12 (2021), 1024–1040
8	P. V. Mokrushnikov, V. Ya. Rudyak, E. V. Lezhnev	"Mechanism of gas molecule transport through erythrocytes' membranes by kinks-solitons", Наносистемы: физика, химия, математика, 12:1 (2021), 22–31
9	V.Ya. Rudyak	"Features of transport processes of nanofluids", Interfacial Phenomena and Heat Transfer, 9:2, (2021), 29–50.
10	А. В. Минаков, А. С. Лобасов, М. И. Пряжников, Л. С. Тарасова, Н. Я. Василенко, В. Я. Рудяк	"Экспериментальное исследование влияния наночастиц на процессы испарения жидкостей", ЖТФ, 90:1 (2020), 33–41
11	V. Ya. Rudyak, E. V. Lezhnev	"Stochastic molecular modeling the transport coefficients of rarefied gas and gas nanosuspensions", Наносистемы: физика, химия, математика, 11:3 (2020), 285–293
12	В. Я. Рудяк, Е. В. Лежнев	"Вязкость газов в наноканалах", Письма в ЖТФ, 46:20 (2020), 51–54
13	В. Я. Рудяк, А. В. Минаков, М. И. Пряжников,	"Электропроводность наножидкостей с металлическими частицами", Письма в ЖТФ, 45:9 (2019), 36–39
14	В. Я. Рудяк, Е. В. Лежнев, Д. Н. Любимов,	"Имитационное моделирование коэффициентов переноса разреженных газов и наногазовзвесей", Вестн. Томск. гос. ун-та. Матем. и мех., 2019, 59, 105–117
15	В.Я. Рудяк, А.А. Белкин	"О влиянии наночастиц на структуру жидкости", Коллоидный журнал, 81:4 (2019), 541–544

Не являюсь членом экспертного совета ВАК

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

Дата 15.12.2022