

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор ОИВТ РАН

академик Петров О. Ф.

«12» октября 2020 г.



ОТЗЫВ

ведущей организации – Федерального государственного бюджетного учреждения науки – Объединенного института высоких температур Российской академии наук на диссертацию Виноградова Андрея Владимировича «Неравновесные процессы распада метастабильных состояний при кипении и образовании газовых гидратов», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника

Тема диссертационной работы А.В.Виноградова является актуальной – сильная неравновесность, взрывной характер фазовых переходов присущи многим процессам, реализуемым в энергетических аппаратах и химических технологиях (истечение метастабильной жидкости, переходные режимы кипения, закалка металлов и т. п.). Они сопровождают аварийные явления (разрывы элементов технологических аппаратов) и, напротив, с пользой применяются в пожарной технике или при интенсивно разрабатываемых в последнее время технологиях получения, сохранения и обращения с газовыми гидратами. Работа нацелена на определение, систематизацию и обобщение пульсационных характеристик сильно неравновесных процессов, выявление их общих черт анализ возможностей их эффективной диагностики и использования в целях индикации и управления процессами со средами, пребывающими в существенно метастабильном состоянии.

Диссертация состоит из Введения, семи глав, объединенных в два раздела, и Заключение. В первом разделе обсуждаются вопросы, связанные с экстремальными флуктуациями в критических и переходных режимах процессов тепломассопереноса с фазовыми переходами. Во втором - приводятся результаты экспериментального исследования кристаллизации низкотемпературных конденсатов аморфного льда и связанной с нею возможностью получения гидратов компонентов природного газа,

возможности сохранения (самоконсервации) газовых гидратов в метастабильном состоянии в широком диапазоне температур.

Глава 1.1 носит обзорный характер. В ней показано, что сильно неравновесные процессы с фазовыми переходами (кипение, акустическая кавитация, явление Лейденфроста, пульсирующее горение на поверхности пористых фитилей и ряд других) имеет сходные черты: сильная неравновесность процесса сопровождается появлением флуктуаций с расходящимися ($1/f$) спектральными характеристиками типичных для данного процесса параметров (температуры стенки, объемного содержания легкой фазы и т. п.), названных по аналогии со схожими явлениями в электронике фликкер (мерцательными) шумами. Экспериментальному изучению и всестороннему анализу этого явления в значительной степени посвящена диссертация.

В главе 1.2 рассмотрены результаты экспериментальных исследований флуктуационных процессов при околорезонансном кипении на проволочках, на пористом нагревателе, при явлении Лейденфроста и при акустической кавитации. Описаны экспериментальные установки, методики исследований и результаты измерений параметров, методы их обработки и результаты анализа. Среди результатов интересно отметить масштабную инвариантность (в известных пределах) спектров пульсаций параметров к размерам выборки. К сожалению, диссертантом не были сколь-либо подробно изучены такие характерные для кипения на проволочных нагревателях режимы, как устойчивое сосуществование зон пузырькового и пленочного кипения (так называемая равновесная нагрузка) и перемещение фронта пленочного кипения.

Весьма интересные результаты получены при акустической кавитации разных жидкостей, позволяющие проследить влияние вязкости на образующиеся структуры фрактального типа.

В главе 1.3 рассмотрены результаты экспериментальных исследований флуктуационных явлений при сильно неравновесных фазовых переходах, не связанных с кипением и кавитацией: дуговом электрическом разряде с холодным катодом и пульсирующих режимах горения. Показано, что в данных ситуациях также могут возникать флуктуационные процессы с $1/f$ спектром мощности характерных параметров.

Глава 1.4 посвящена исследованию стохастического резонансного отклика режимных параметров при кипении. Резонансный отклик усиливался с понижением частоты внешнего воздействия. При малых частотах и достаточно высоких амплитудах внешней гармонической «силы» наблюдался анизотропный акустический резонанс.

Глава 2.1 посвящена исследованию кинетики кристаллизации аморфного льда, полученного осаждением молекулярных пучков паров воды на охлаждаемую жидким азотом поверхность в вакууме. Изучены кинетика кристаллизации аморфного льда при нагреве образцов, частота зародышеобразования и скорость роста кристаллов. Показана возможность образования газовых гидратов компонент природного газа на базе этой технологии. Флуктуационные характеристики ряда параметров в условиях сильно неравновесной кристаллизации имели много общего с явлениями, проанализированными в 1-ом разделе диссертационной работы.

В главе 2.2 на основе анализа современного состояния научных исследований и промышленных технологий получения, транспортировки, хранения и переработки газовых гидратов делается заключение о целесообразности разработки новых технологических приемов, при этом имеющий в Институте теплофизики УРО РАН научный задел (он получен при активном участии диссертанта) может послужить основой дальнейших разработок.

В главе 2.3 описана разработанная диссертантом новая технология получения гидратов компонентов природного газа и результатов исследований фазовых превращений в образцах, полученных на ее основе. Эти результаты внушают определенный оптимизм, хотя, естественно, подразумевают интенсивное продолжение работ как научного, так опытно-технологического плана.

Полученные в диссертационной работе результаты представляются достаточно надежными, экспериментальные методики прошли многолетнюю тщательную отработку и проверку. Численный анализ, сопровождающий отдельные результаты исследований, подтверждает вышесказанное. Выводы из работы вытекают из представленного в диссертации материала.

Научная новизна диссертации состоит в постулировании, экспериментальном подтверждении и анализе флуктуационных явлений, сопровождающих сильно неравновесные переходы в двухфазных системах, в описании расходящихся спектральных характеристик типичных физических параметров процесса и, соответственно, флуктуаций параметров, поддающихся диагностированию и отражающих эти физические явления. Показано, для исследованных в диссертации достаточно разнородных явлений эти описания достаточно схожи и поддаются научному обобщению.

Практическая ценность работы в следующем. Исследования и описание расходящихся спектральных характеристик специфических для сильно неравновесного

распада параметров, корреляционных связей между ними и возникновением кризисных явлений задают направление в поиске и разработке надежной диагностики таких процессов, их мониторинга, заблаговременного предупреждения аварийной ситуации. Успешное получение по предложенной новой технологии образцов гидратов метана с высоким содержанием газа создают основу для развития данного направления.

По диссертации А.В.Виноградова можно сделать следующие замечания;

1. Известно, что характеристики процесса кипения на тонких проволочках сильно отличаются от таковых на теплоотдающих поверхностях большой площади, имеющих большую тепловую инерцию и способность благодаря растечкам тепла вдоль поверхности нагрева сглаживать эффекты, связанные с локальными всплесками температуры. В диссертации отсутствует комментарий, в какой степени полученные на проволочках результаты могут быть перенесены на греющие поверхности большего масштаба.
2. Выполненные исследования резонансных явлений при воздействии цепочки пузырей на процесс кипения на проволоке не совсем корректны, поскольку диаметр возмущающих пузырей сравним или даже превосходит размеры пузырей, образующихся на самой проволочке.
3. В работе весьма скудно обозначены пути практической реализации полученных обширных материалов по расходящимся частотным характеристикам типичных параметров процесса в конкретных системах автоматизации и безопасности.
4. Необходимо более детальное сравнение метода низкотемпературной конденсации молекулярных пучков с другими технологиями получения гидратов, указание в какой степени данная технология вышла за лабораторные рамки.
5. Хотелось бы видеть оценки энергетических затрат на получение гидратов предложенным способом.

В целом диссертационная работа А.В.Виноградова «Неравновесные процессы распада метастабильных состояний при кипении и образовании газовых гидратов» по своей актуальности, научной новизне и практической значимости заслуживает положительной оценки. Она отвечает требованиям п. 9 Положения ВАК о порядке присуждения ученых степеней. Ее автор Виноградов Андрей Владимирович заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника.

Содержание диссертации достаточно полно представлено в 36 журнальных публикациях в изданиях, входящих в перечень ВАК. Материал диссертации многократно докладывался на Всероссийских и Международных конференциях

Автореферат диссертации отражает все ее основные положения.

Диссертационная работа А.В.Виноградова была обсуждена и получила положительную оценку на межотдельском научном семинаре ОИВТ РАН 17 марта 2020 г.

Зав. лабораторией 9.2 ОИВТ РАН

к.т.н.

 Власкин М.С.

Гл. научн. сотр. лаборатории 10.2 ОИВТ РАН

д.т.н.

 Зейгарник Ю.А.

Власкин Михаил Сергеевич. Заведующий лабораторией 9.2 - энергоаккумулирующих веществ Объединенного института высоких температур РАН. 125412, Москва, ул. Ижорская д.13, стр. 2, т. 495-485-43-85

Зейгарник Юрий Альбертович. Главный научный сотрудник лаборатории 10.2 – теплообмена в энергетических установках Объединенного института высоких температур РАН. 125412, Москва, ул. Ижорская д.13, стр. 2. Т. 495-485-43-85