

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Виноградова Андрея Владимировича «Неравновесные процессы распада метастабильных состояний при кипении и образовании газовых гидратов», представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 001.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника

Неравновесные процессы тепло- и массообмена при фазовых переходах определяются не только средними значениями параметров процесса, но и хаотическими флуктуационными отклонениями от средних значений этих параметров. При этом устойчивым процессам соответствует спектр с ограничением мощности со стороны низких частот. Изучение динамики флуктуаций теплообмена в кризисных и переходных режимах свидетельствует о том, что такое поведение низкочастотной асимптотики спектров наблюдается не всегда. В кризисных режимах кипения, при взрывном вскипании струй перегретой жидкости, в колебательных режимах горения, при дуговом электрическом разряде возникают низкочастотные высокоэнергетические пульсации со спектром мощности, обратно пропорциональным частоте f ($1/f$ спектр). Причем флуктуации далеко не всегда являются малыми, т.е. амплитуда выбросов может быть сопоставима с величиной усредненного сигнала. Выявление общих закономерностей возникновения и устойчивости экстремальных пульсаций с $1/f$ спектром мощности необходимо для выработки способов их подавления в различных технологических процессах, в которых возможны случайные экстремальные пульсации, возникающие в переходных и кризисных режимах тепломассопереноса.

Типичными фазовыми переходами являются процессы льдо- и гидратообразования. При неравновесной кристаллизации воды из твердого аморфного состояния могут образовываться фрактальные кластеры. При нагревании неравновесных аморфных слоев возможна взрывная кристаллизация. При кристаллизации глубоко переохлажденной твердой аморфной воды, насыщенной газом, могут образовываться газовые гидраты. В метастабильных условиях лавинообразное зарождение центров кристаллизации

захватывает молекулы газа, поэтому не происходит их вытеснения движением фронта кристаллизации.

Стоит отметить, что изучение возникновения и устойчивости экстремальных пульсаций с $1/f$ спектром мощности является достаточно сложной и многогранной научной и прикладной задачей. Выделение источника $1/f$ флуктуаций, описание механизма формирования $1/f$ спектра при масштабных преобразованиях функций распределения экспериментально измеренных флуктуаций при неравновесных фазовых переходах различной природы, экспериментальное изучение процесса гидратообразования при существенном отклонении от равновесных условий в низкотемпературных слоях аморфного льда, насыщенного газом, вызывает значительные сложности из-за большого разнообразия межфазных и внутрифазных взаимодействий, а также быстроты протекания процессов. Требуется знание ряда параметров, что обуславливает необходимость создания комплекса экспериментальных установок для регистрации флуктуационных процессов в системах с неравновесными фазовыми переходами и проведения экспериментальных исследований критических режимов тепло- и массообмена, характеризующиеся значительными отклонениями от условия равновесия фаз, взрывным характером фазовых превращений.

В этой связи диссертационная работа А.В. Виноградова, направленная на экспериментальное и теоретическое изучение динамики критических и переходных процессов тепломассопереноса при высокоинтенсивных фазовых превращениях, имеет, несомненно, научное и практическое значение. Разработка и/или совершенствование лабораторных установок и методики проведения эксперимента с целью регистрации флуктуационных процессов в системах с неравновесными фазовыми переходами, получение широкого набора детальных экспериментальных данных, экспериментальное и теоретическое исследование влияния различных параметров на динамику флуктуаций в системах с неравновесными фазовыми переходами определяют актуальность представленной работы.

В диссертации А.В. Виноградова предложен метод получения газовых гидратов при низкотемпературной конденсации молекулярных пучков, изучены особенности флуктуационных процессов в кризисных и переходных режимах

кипения, ультразвуковой кавитации жидкостей различной вязкости, колебательных режимах горения, дуговом электрическом разряде, установлены закономерности возникновения и устойчивости высокоэнергетичных пульсаций с низкочастотной расходимостью спектров мощности, получены новые данные по кинетике образования аморфного льда при осаждении в вакууме водяных паров на охлаждаемую поверхность. Из вышесказанного следует соответствие диссертационной работы паспорту специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника.

В основном можно согласиться с формулировками автора о новизне работы, которая заключается в следующем: 1) впервые определены спектральные характеристики флуктуационных явлений в процессах тепломассопереноса с интенсивными фазовыми переходами; 2) показано, что в переходных режимах кипения (кризис кипения на пористой поверхности, испарение капли на горячей горизонтальной поверхности, смена режимов кипения на платиновом проволочном нагревателе) и при акустической кавитации жидкостей возможно возникновение флуктуационных процессов с расходящимися спектральными характеристиками, в этих режимах спектры мощности флуктуаций изменяются обратно пропорционально частоте, увеличение высокочастотной границы $1/f$ поведения спектров мощности понижает низкочастотную границу; выявлена масштабная инвариантность $1/f$ флуктуаций; обнаружена возможность самоорганизации при акустической кавитации жидкостей; 3) на основе экспериментального исследования экстремальных температурных пульсаций при переходе от пузырькового к пленочному режиму кипения воды на платиновом проволочном нагревателе при периодическом тепловыделении показано, что при низких частотах такого тепловыделения внешний шум приводит к перемежаемости режимов пузырькового и пленочного кипения и возрастанию амплитуды температурных пульсаций; дана интерпретация полученных результатов; 4) установлены соотношения динамического скейлинга между критическими показателями, определяющими частотную зависимость спектров мощности пульсаций α и функции распределения амплитуд экстремальных низкочастотных пульсаций β , эти критические показатели связаны соотношением $\alpha + \beta = 2$; 5) рассмотрен способ получения аморфного льда осаждением тонких пленок на охлаждаемую

жидким азотом подложку; исследование процесса образования аморфного льда показало, что с понижением температуры подложки концентрация готовых центров кристаллизации уменьшается и когда она становится меньше некоторой определенной величины, для оценки которой в работе предложена формула, кристаллизация идет в основном на гомогенных зародышах; б) предложен новый метод получения газового гидрата при конденсации нанокластеров в сверхзвуковых потоках разреженного водяного пара и газа.

Исследование изучаемых в диссертации явлений осуществлено с привлечением современных экспериментальных установок для изучения критических и переходных процессов тепломассопереноса при высокоинтенсивных фазовых превращениях. Обоснованность и достоверность работы в ее экспериментальной части подтверждаются использованием апробированных методик проведения экспериментов, воспроизводимостью экспериментальных режимов, строгим анализом погрешностей всех измерений, в теоретической части следует из корректной постановки задач, применения при разработке математических моделей фундаментальных уравнений термодинамики и теории неравновесных процессов. Полученные результаты согласуются с экспериментальными и теоретическими данными других авторов.

Научная и практическая ценность диссертации обусловлена, прежде всего, важностью практических приложений, послуживших мотивацией для изучения динамики критических и переходных процессов тепломассопереноса при высокоинтенсивных фазовых превращениях. Проведенные исследования охватывают достаточно широкий спектр задач данной проблемы и позволяют решать актуальные прикладные задачи. Полученные в диссертации данные могут быть применены для выработки рекомендаций по предотвращению случайных пиковых пульсаций, возникающих в переходных и кризисных режимах тепломассопереноса в энергетическом оборудовании, для разработки и обоснования эффективных способов получения газогидратов с целью их дальнейшей транспортировки или хранения. Результаты диссертационной работы с успехом могут быть использованы в учебном процессе, в частности, при изложении таких дисциплин, как «Термодинамика», «Теория тепломассообмена», «Теория неравновесных процессов» и др.

В качестве замечаний хотелось бы высказать следующее:

1. Приведенный в п. 8 заключения тезис о том, что «Самоконсервация обеспечивала сохранение гидратов в метастабильном состоянии при температурах значительно выше их равновесных температур диссоциации» не является новым, поскольку он представлен в ряде других работ, в частности, в работах группы профессора А.Н. Нестерова. Здесь диссертанту необходимо было привести анализ авторских экспериментальных данных по кинетике образования газогидратов. Также весьма спорным представляется приведенный в диссертации и автореферате тезис о том, что добыча газа из гидратосодержащих залежей является практически не осуществимой. На мой взгляд, в недалеком будущем появятся эффективные и экономически оправданные технологии отбора метана из гидратонасыщенных пластов, т.к. этот газ используется не только в энергетике, но и в современной химической промышленности, где метан – один из основных источников сырья, а запасы природного газа в свободном состоянии являются ограниченными и много меньше этих запасов в газогидратном состоянии.

2. Из текста диссертационной работы не ясно, как исследованные системы и полученные экспериментальные данные соотносятся с изученными теоретическими моделями фликкер-шума. Не указано конкретное соответствие взаимодействующих параметров порядка в теоретической модели каким-либо параметрам порядка исследованных систем, выражаемых через измеряемые в экспериментах значения тока, падения напряжения, интенсивности рассеянного света и т.п.

3. Есть определенные, на мой взгляд, пробелы в изучении установленного в диссертации соотношения спектра низкочастотных шумов и спектра шумов в высокочастотном диапазоне, связанного с фундаментальным механизмом формирования фликкер-шума в исследованных системах. Для устранения этих пробелов, в работе стоило бы провести обобщающий анализ совокупности данных по соотношению низкочастотных и высокочастотных шумов, внешнего периодического воздействия на исследованные процессы и стохастического резонанса. Также содержательность выводов диссертационной работы могли бы существенно повысить экспериментальные данные по влиянию на характеристики шумов в исследуемых системах внешних шумов с различным

типом спектра, дополнительно к данным по воздействию периодических возмущений. В частности, представляет практический интерес поведение системы двух последовательно или параллельно соединенных платиновых проволок в отдельных ячейках с различными режимами кипения.

Но при обсуждении данного замечания стоит отметить, что его можно рассматривать с позиции пожеланий для дальнейшего развития исследований.

4. В работе при описании кинетики образования аморфного льда при осаждении водяных паров на охлаждаемую поверхность используется формула для расчета скорости роста кристалла в линейном приближении. Здесь диссертанту необходимо было привести дополнительные основания в обоснованности применения этой формулы, поскольку в опытах процесс образования аморфного льда происходил при весьма больших темпах охлаждения.

5. Диссертация не свободна от опечаток, стилистических и смысловых погрешностей (например, «...ряд областей оптики ... и т.д. использовали эту формулу...», «...результатом теоретического и эмпирического исследования, вызванного проблемами нелинейной оптики ...» и т.п.). Формула (2.3) записана с ошибкой. Рис. 1.24, 1.34, 1.36, 1.71, 1.79, 1.80, 1.89, 1.90, 1.102, 2.1 и 2.2 размещены в диссертации до их первого упоминания в тексте.

Сделанные замечания не влияют на общую оценку работы, которая заключается в следующем.

Диссертационная работа Виноградова А.В. выполнена на высоком научном уровне. Список публикаций, приведенный в автореферате диссертационной работы, указывает на проработку всего круга поставленных перед соискателем задач. Текст автореферата в полной мере отражает содержание всего объема результатов исследований. Материалы диссертационной работы докладывались на международных и российских научных конференциях, опубликованы в научных статьях, в том числе в рецензируемых научных журналах, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук. Приведены теоретические положения, экспериментальные данные и практические рекомендации, совокупность которых можно квалифицировать как новое крупное достижение в теории

тепломассопереноса при высокоинтенсивных фазовых переходах.

На основании вышеизложенного считаю, что диссертация А.В. Виноградова «Неравновесные процессы распада метастабильных состояний при кипении и образовании газовых гидратов» является законченной научно-квалификационной работой и по своим квалификационным признакам соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней» (постановление Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842), предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор – Виноградов Андрей Владимирович – заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Я, Мусакаев Наиль Габсалямович, даю свое согласие на включение своих персональных документов в документы, связанные с защитой диссертации Виноградова Андрея Владимировича, и их дальнейшую обработку.

Официальный оппонент,
главный научный сотрудник – заместитель
директора Тюменского филиала Института
теоретической и прикладной механики
им. С.А. Христиановича СО РАН по научной работе,
доктор физико-математических наук
(специальность 01.02.05 – механика
жидкости, газа и плазмы), профессор



Мусакаев Наиль Габсалямович

03.09.2020 г.

Адрес: РФ, 625026, г. Тюмень, а/я 1507, ТюмФ ИТПМ СО РАН,
e-mail: musakaev@ikz.ru, тел. (3452) 682745