

**ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА**  
**на диссертацию Судакова Владимира Сергеевича «Явления**  
**самоорганизации в сложных активных коллоидных системах»,**  
представленную к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника.

**Актуальность темы диссертации**

Активные коллоидные эмульсии используются для различных целей на всей истории человека на основании анализа и обобщения эмпирической информации, полученной почти всегда случайным образом при попытках использования таких эмульсий в медицинских приложениях. При этом по объективным причинам отсутствовало понимание сущности физических и химических процессов, протекающих в таких системах, как на стадии их подготовки, так и использования. Но по мере усложнения условий жизни человека в связи с загрязнением окружающей среды и ростом нагрузок на каждого жителя любого государства возникла объективная необходимость глубокого понимания физики и химии процессов, протекающих в сложных активных коллоидных системах на стадиях их приготовления, хранения и применения. Но активные элементы таких систем имеют малые характерные размеры и перемещаются в разного рода эмульсиях в виде капель или отдельных компонентов капель под действием группы сил. Пока теория движения и взаимодействия активных капель в эмульсии не разработана как для одиночных капель, так и для их групп. Нет и достаточного для разработки такой теории объема экспериментальных данных хотя бы для нескольких простейших коллоидных систем. По этим причинам тема диссертации В.С. Судакова, целью которой является исследование механизмов движения и коллективных явлений в активной эмульсии, безусловно актуальна.

Проводя анализ актуальности темы диссертации В.С. Судакова также необходимо отметить, что эта диссертация является одной из немногих, посвященных исследованию процессов, происходящих в микросистемах. Результаты экспериментов по установлению основных закономерностей процессов переноса на микроуровне в конкретной микросистеме имеют безусловное фундаментальное значение, т.к. установленные автором механизмы и закономерности движения и взаимодействия капельных элементов эмульсий являются базой при анализе аналогичных процессов и в других сложных коллоидных системах.

**Общая характеристика диссертации.**

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка использованных источников.

В первой главе автор описывает основные объекты своих исследований – новый тип сверхбыстрых активных капель в эмульсии «масло-в-воде». Приведены данные по методикам изготовления капель и их активации.

Приведено описание механизма влияния аммиака на скорость движения одиночной капли. Показаны процессы образования кластеров и проанализированы действующие на каплю силы. Показано, что скорость движения агломератов может достигать очень высоких (по традиционным критериям) скоростей (до 1,5 мм/с). Рассмотрены механизмы перемещения массивных капель в эмульсии в результате работы активных капель. Установлены примеры образования агломератов из пассивных и активных капель.

Во введении на основании анализа актуальности темы диссертации сформулированы цель и задачи диссертационного исследования. Приведены описания основных защищаемых положений, обоснования научной и практической значимости диссертации, сведения о публикациях и выступлениях на конференциях.

Вторая глава рукописи посвящена изложению результатов исследований коллективных явлений в активной эмульсии. Для выполнения исследований этой части диссертации также использовалась эмульсия «масло-в-воде» - капли были диспергированы в водном растворе анионного стабилизатора. Активное движение капель в эмульсии инициировалось с помощью водного раствора аммиака. Установлено, что в активной эмульсии могут формироваться вихревые структуры – одинарные, парные и тройные вихри. Показано, что формирование упорядоченных структур обусловлено гидродинамическим взаимодействием капель между собой через сплошную эмульсию.

В третьей главе приведены результаты исследований процессов роста кристаллов в активной эмульсии на примере эмульсии «октан-в-воде», которая активировалась введением аммиака. В качестве зародыша кристалла использовался кристалл с гексагональной решеткой. Показано, что скорость роста кристалла зависит от средней скорости движения капель в эмульсии и имеет максимум на этой зависимости. Также установлено, что активные капли в определенных условиях взаимодействия могут формировать двумерный коллоидный кристалл. Скорость роста такого кристалла зависит от средней скорости движения капель в эмульсии и имеет максимум на этой зависимости.

В четвертой главе рукописи приведены результаты исследований процессов перемещения капель в эмульсии с использованием магнитных наночастиц и магнитных полей. Магнитные частицы в экспериментах автора внедрялись не в каплю, а распределялись в эмульсии. В экспериментах использовалась эмульсия «масло-в-воде» и ферромагнитные наночастицы, диспергированные в эмульсию. Выделены по результатам экспериментов два режима движения эмульсии с гидроподобными и гидрофильными наночастицами в микроканале (диаметр 800 мкм), отличающиеся по скоростям движения капель в пять раз. Также в этой главе приведены результаты экспериментов, в которых капли в эмульсии «масло-в-воде» перемещались в неоднородном магнитном поле с помощью магнитных

наночастиц. Особенность методики заключалась в том, что частицы не внедрялись в капли, а были диспергированы непосредственно в эмульсию. Установлено, что гидрофобные частицы адсорбируются на поверхности капель, в результате образуется агломерат «частица-капля». Такие агломераты движутся в эмульсии с существенно большими скоростями, чем пассивные капли. Гидрофильные же частицы в магнитном поле не адсорбируются на поверхности капель. Капли увлекаются движущейся жидкостью, на которую оказывают влияние подвижные магнитные кластеры.

В пятой главе приведены результаты исследований осциллирующего движения капель в эмульсии при сопутствующих химических реакциях в несущей среде. Рассмотрен пример системы, в которой развивается возвратно-поступательное движение капель масла в эмульсии «масло-в-воде» вблизи межфазной поверхности «воздух-вода» при условии отсутствия движения источника вещества, влияющего на межфазное натяжение в месте с активным объектом. Установлена возможность возникновения в такой системе возвратно-поступательного движения капель масла вблизи межфазной поверхности «воздух-вода». Сделан вывод, что такое движение капель в эмульсии является следствием химических реакций в такой системе. Приведена гипотеза о механизме влияния химической реакции на поверхностное натяжение. Показано, что в приповерхностном слое жидкости возникает течение Марангони, направленное из области пониженного поверхностного натяжения в область повышенного. Описан двухстадийный механизм колебательного движения капель в эмульсии. Анализ осциллирующего движения капель в эмульсии при протекании в ней химических реакций рассмотрен на примере взаимодействия частиц меди и аммиака.

В заключении приведены основные результаты и выводы по диссертационному исследованию В.С. Судакова.

#### **Общая методология и методика исследования**

При решении задач диссертации соискатель выполнял, в основном, экспериментальные исследования, т.к. теоретическое описание изучаемых им процессов пока в рамках моделей механики сплошной среды, скорее всего, невозможно. Автор разработал несколько оригинальных экспериментальных методик исследования и соответствующих экспериментальных установок с использованием современных средств регистрации (точнее визуализации) исследовавшихся процессов движения одиночных капель и их групп. При анализе установленных по результатам выполненных экспериментов В.С. Судаков использовал современные представления о физике массопереноса в сложных активных коллоидных системах.

#### **Научная новизна результатов, выводов и защищаемых положений**

В.С. Судаков выполнил оригинальные экспериментальные исследования и получил результаты, соответствующие современному критерию научной новизны. К наиболее значимым можно отнести следующие.

1. Установлены условия формирования вихревых структур в активной эмульсии.

2. Разработаны базовые принципы метода перемещения эмульсионных капель при воздействии магнитных наночастиц, диспергированных в основной компоненте эмульсии.

3. Установлено, что движение капель в эмульсии обусловлено ассиметричным распределением активирующего агента на межфазной поверхности движущейся капли.

4. Показано, что в состоящей из смеси активных и пассивных капель эмульсии возможно спонтанное образование кластеров из капель. При этом если диаметр активных капель оказывается меньше или сопоставим с диаметром массивных капель, то в эмульсии возникает прямолинейное движение кластеров капель.

5. Установлено, что в состоящий из активных моодисперсных капель эмульсии возможен рост кристаллов, скорость которого имеет максимум при определенной скорости движения капель.

6. Показано, что в химически реагирующей эмульсии возможно возникновение возвратно-поступательного движения капель, обусловленное сменой направления течения Марангони на межфазной поверхности эмульсии «вода-воздух».

Новизна основных результатов диссертационного исследования В.С. Судакова, выводов и защищаемых положений убедительно подтверждается несколькими публикациями в авторитетных международных высокорейтинговых периодических научных изданиях.

#### **Практическая значимость**

Результативные фундаментальные экспериментальные исследования в большинстве случаев являются базой для выполнения опытно-конструкторских работ по созданию новых технологий и новых образцов техники. Исходя из этого базисного положения можно сделать вывод, что результаты исследований В.С. Судакова обосновывают целесообразность использования при разработке технологий доставки лекарств при лечении заболеваний сложных активных коллоидных систем медикаментозного назначения.

#### **Достоверность результатов исследований.**

Достоверность результатов экспериментальных исследований автором диссертации, а также сделанных обобщений подтверждается общепринятыми в научных экспериментах процедурой повторения несколько раз эксперимента при фиксированном значении всех основных контролируемых факторов.

#### **Замечания по диссертации**

1. При анализе физики зарегистрированных в проведенных автором экспериментах зависимостей характеристик исследовавшихся процессов от времени и других значимых факторов не проводится численных оценок

действующих на капли сил. Такие оценки могли бы существенно усилить аргументацию автора при описании механизмов изучавшихся им процессов.

2. В автореферат не вошли описания использованных при проведении экспериментальных исследований методик и установок, что дает основания для вывода, что автореферат не в полной мере соответствует рукописи диссертации.

3. Значимость результатов любых экспериментальных исследований (в первую очередь фундаментальных, какими являются исследования В.С. Судакова) в значительной степени обосновывается анализом систематических и случайных погрешностей результатов измерений (неопределенностей по новой терминологии). Логичным было бы приведение численных значений неопределенностей всех использованных при выполнении диссертации методик и средств регистрации характеристик процессов. Но этого сделано не было.

4. В соответствии с общей теорией эксперимента, разработанной Р. Фишером еще в тридцатых годах прошлого столетия, любые экспериментальные исследования должны заканчиваться построением по результатам этих экспериментов математической модели исследовавшегося процесса в виде зависимости значений основной функции цели от наиболее значимых факторов в диапазоне изменения последних, соответствующем реальной практике. Таких моделей автор диссертации не сформулировал.

Сделанные замечания не снижают высокой в целом оценки научной и практической значимости результатов диссертационного исследования В.С. Судакова. На основании анализа содержания рукописи и автореферата его диссертации можно сделать заключение, что В.С. Судаковым решена новая научная задача в области массопереноса в сложных активных коллоидных системах, имеющая существенное значение для теории тепломассопереноса в условиях физико-химических превращений.

#### **Заключение о соответствии диссертации критериям.**

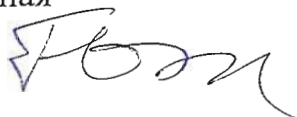
Диссертация В.С. Судакова является законченной научно-квалификационной работой, выполненной самостоятельно, содержит результаты экспериментальных исследований, соответствующих критериям новизны.

Диссертация В.С. Судакова соответствует специальности 1.3.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника. Автореферат диссертации соответствует тексту рукописи диссертации, которая написана правильным русским языком, в доказательном стиле и хорошо иллюстрирована.

На основании анализа содержания рукописи и автореферата диссертации В.С. Судакова «Явления самоорганизации в сложных активных коллоидных системах» можно сделать обоснованное заключение о том, что она соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ №824 от 24.09.2013 (ред. от 01.10.2018), а её автор Судаков Владимир Сергеевич

заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника.


Профессор Научно-образовательного центра И. Н. Бутакова, Инженерной школы энергетики Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», доктор физико-математических наук (01.04.14 - Теплофизика и молекулярная физика), профессор  
11.10.2022



Кузнецов Гений Владимирович

Подпись Г.В. Кузнецова заверяю:

Ученый секретарь Национального исследовательского Томского политехнического университета, кандидат технических наук



Кулинич Екатерина Александровна

Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 30,  
e-mail: marisha@tpu.ru,  
тел. +7 (3822) 606-248, 701-777, вн 16-15.