

Моделирование движения мелкодисперсной капельной жидкости в закрученном потоке газа

Афанасенко Виталий Геннадьевич¹

аспирант

Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Россия

E-mail: awirus@rambler.ru

Одним из основных способов интенсификации тепло- массообменных процессов, в технологических аппаратах в системе «газ-жидкость», является увеличение поверхности контакта фаз, которое зачастую связано с повышением скорости относительного движения фаз. Увеличения поверхности контакта фаз можно добиться повышением эффективности диспергирования одной фазы в другой.

Режим дробления капли жидкости в потоке газа зависит от физических свойств компонентов, диаметра капли и скорости обдувающего ее газа. На физические свойства газа и жидкости при заданных технологических условиях повлиять невозможно. Диаметры капель претерпевают значительные изменения, так как крупные капли, образующиеся на первоначальном этапе, даже при небольшом воздействии деформируются и разрушаются, в результате чего получаются более мелкие. Поэтому главным критерием, определяющим режим дробления капель, и диспергирование жидкости на выходе из форсунки в целом, является разность скоростей капли жидкости и окружающей ее среды. Рассмотрим основные параметры процесса дробления капель жидкости в закрученном потоке газа. На рисунке 1 изображена принципиальная схема вихревой камеры аппарата. Жидкость поступает через форсунку, в которой под действием закручивающего устройства и насечек на поверхности рабочей части кольцевого сопла вектор скорости жидкой фазы на выходе приобретает тангенциальную составляющую. Газ поступает через тангенциальный патрубок на периферии камеры, причем закрутка потоков жидкости и газа осуществляется в противоположных направлениях.

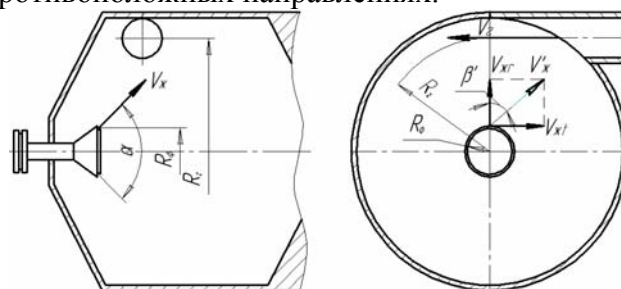


Рисунок 1 – Вихревая камера массообменного аппарата

Разности векторов скорости отдельно взятой капли и обдувающего ее потока газа при истечении жидкости под углом к радиально-осевому направлению, без учета влияния сил сопротивления:

$$u = \sqrt{V_{жс}^2 + \frac{V_2^2}{R_2^2} R_i^2 + 2V_{жс} \cdot \sqrt{1 - \cos^2 \beta} \cdot \cos^2 \frac{\alpha}{2} \cdot \frac{R_\phi \cdot \sin \beta'}{R_2} \cdot V_2}$$

где $V_{жс}$ - общая начальная скорость жидкости, м; V_2 - скорость газа на входе, м/с; R_i - расстояние от рассматриваемой точки до оси вращения, м; R_2 - расстояние от оси входного патрубка газа до оси вращения, м; R_ϕ - начальный радиус вращения жидкости (радиус сопла форсунки), м; β - отклонение вектора скорости на выходе из форсунки от радиально-осевого направления; α - угол раствора срединной конической поверхности канала в корпусе форсунки; β' - угол отклонения проекции вектора скорости на плоскость перпендикулярную оси вращения от радиального направления.

Таким образом, зная характер изменения разности скоростей можно в зависимости от свойств компонентов обеспечить необходимый режим дробления капельной

¹ Автор выражает признательность д.т.н., профессору Хафизову Ф.Ш. за помощь в подготовке тезиса.

жидкости в потоке газа, для эффективного проведения тепло- массообменных процессов.

Уравнение состояния и теплоёмкость газообразного азота в рамках квазихимической кластерной модели (КХКМ)

Гелиев Александр Валикоевич,
Студент

Московский Физико-Технический Институт (ГУ), Долгопрудный, Россия
E-mail: Alexander.geliev@mail.ru

Уравнение состояния однокомпонентного идеального газа $PV = nRT$, (P - давление, V - объём, R - универсальная газовая постоянная, n - число молей газа) при учёте образования в нём простейших кластеров-димеров может быть представлено в виде $PV = (n_1 + n_2)RT$, где n_1 - число молей мономеров, n_2 - число молей димеров газа [1], [2]. Одним из наиболее развитых уравнений состояния реального газа, является вириальное уравнение $\frac{P}{\rho RT} = 1 + B\rho + C\rho^2 + D\rho^3 + \dots$, где B, C, D - 2-й, 3-й, 4-й вириальные коэффициенты соответственно.

Другим подходом к получению уравнения состояния однокомпонентного или многокомпонентного газа и молярной теплоёмкости при постоянном давлении является использование, построенной на квантово-статистических основах, так называемой квазихимической кластерной модели (КХКМ). На основании КХКМ однокомпонентного газа он представляется в виде смеси мономеров, димеров, тримеров и т.д. с числовой плотностью N_i , $i=1,2,3\dots$. На основании квантово-химических расчётов методами *ab initio* были рассчитаны моменты инерции, частоты внутри и межмолекулярных колебаний, а также энергии образования и диссоциации кластеров, что позволило найти мольные доли кластеров и построить уравнение состояния, а также молярную теплоёмкость при постоянном давлении однокомпонентного газа для идеальной смеси кластеров [2], [4], [6].

На рис.1 приведены результаты расчёта зависимости давления насыщения азота от температуры, используя КХКМ, которая имеет вид

$$P_{\infty}(T) = \frac{kT}{V} \sum_n Z_n^{(tr)} Z_n^{(rot)} Z_n^{(vib)*} \left(1 - e^{-\frac{\bar{\theta}_{\infty}}{T}}\right)^{5n} \exp\left\{-\frac{\theta_{n,\infty}^{dis}}{T}\right\},$$

где $\bar{\theta}_{\infty}$ - среднестатистическая колебательная температура бесконечно большого кластера, $\theta_{n,\infty}^{dis}$ - энергия (выраженная в Кельвинах) отрыва n -мерного кластера от кластера бесконечно большого размера, $Z_n^{(tr)}, Z_n^{(rot)}, Z_n^{(vib)*}$ - статистические суммы различного вида движений n -мерного кластера.

На рис.2 показана зависимость молярной теплоёмкости азота от температуры при давлении $P=1$ атм.

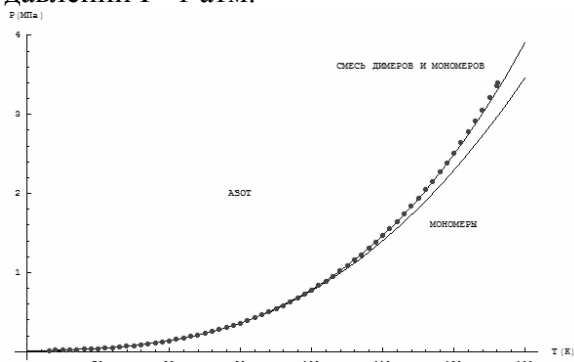


Рис.1

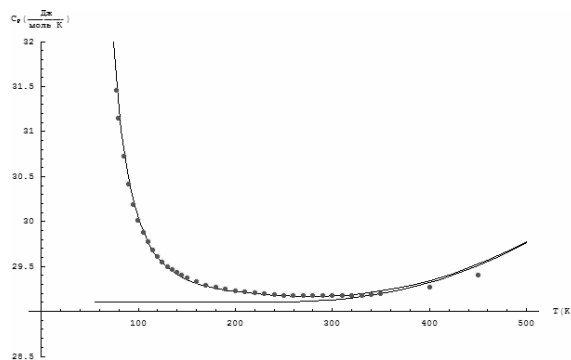


Рис.2

Литература

1. Э. Мэйсон, Т. Сперлинг. Вириальное уравнение состояния М.: “ Мир”, 1972, 280
2. Stogryn D. E., Hirschfelder J.O. Contribution of Bound, Metastable, and Free Molecules to the Second Virial Coefficient and Some Properties of Double Molecules// J. Chem. Phys., 1959, volume 31, № 6 pp 1531-1534

Численное и экспериментальное исследования зоны взаимодействия ударной волны с пограничным слоем.

Дрожжина Н.В., Знаменская И.А., Иванов И.Э.

Студент

Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия
ndrozhzhina@gmail.com

Исследовано течение, возникающее при взаимодействии скачка уплотнения с пограничным слоем, развивающимся на плоской поверхности (стенке канала). В зависимости от чисел Маха, Рейнольдса, величины угла взаимодействия возможны различные конфигурации течения. Сверхзвуковое течение с отрывом и присоединением потока является сложным объектом, где на малом участке потока могут сосуществовать дозвуковые и сверхзвуковые потоки. Известно, что в области отрывного взаимодействия скачка уплотнения с пограничным слоем скорость, плотность и температура потока существенно изменяются.

Численно исследована двумерная задача интерференции плоской ударной волны с пограничным слоем. На основе численного решения системы осредненных по Фавру уравнений Навье-Стокса, дополненных дифференциальной двухпараметрической моделью турбулентности, анализируется устойчивость течения в зоне отрыва и присоединения пограничного слоя. Конвективная часть решаемой системы уравнений аппроксимируется по пространству с помощью явного метода Годунова повышенного порядка (2-5 порядок), по временной координате с помощью метода Рунге_Кутты (2-3 порядок). Вязкие члены аппроксимируются по методу контрольного объема (2 порядок), такой подход на декартовых равномерных сетках дает центрально разностную аппроксимацию вторых производных. Для моделирования турбулентности используется модифицированный вариант $k-\epsilon$ модели турбулентности для высоких чисел Рейнольдса турбулентности. Модификации учитывают сжимаемость среды, которая существенна при сверхзвуковых скоростях, и неравновесность турбулентности (когда порождение турбулентности сильно отличается от диссипации), которая существенна в областях больших градиентов. Для постановки граничных условий используется двухслойный подход или метод пристеночных функций, учитывающий возможный отрыв потока.

Экспериментально исследовано формирование трехмерного пространственного течения около модели в ударной трубе [1]. Изучена зона интерференции конической ударной волны с пограничным слоем на стенке рабочей камеры. Возникающая трехмерная область отрыва визуализируется импульсным объемным разрядом. Зарегистрирована неустойчивость пространственной границы отрыва пограничного слоя, образующегося в зоне интерференции. Показана зависимость масштаба возникающих пульсаций от геометрии пространственной ударно-волновой конфигурации.

Проведено сравнение результатов численного моделирования с изображениями, полученными в результате визуализации пространственного и поверхностного течения импульсным объемным разрядом. Показано наличие в расчете структур, идентичных экспериментально зарегистрированным.

1. Znamenskaya I.A., Gulu-Zade T.A., Kulickov V.N., Sysoev N.N. Instability of shock wave interference with boundary layer at pulse flow ionization. 13th International Conference on Methods of Aerophysical Research (ICMAR 2007, 5-10 February, 2007, Novosibirsk, Russia). Proceedings, Part Y. С. 244-249.
2. Дрожжина Н.В., Знаменская И.А., Иванов И.Э., Крюков И.А., Кули-Заде Т.А. Исследование зоны взаимодействия ударной волны с пограничным слоем. Международная конференция «Нелинейные задачи теории гидродинамической устойчивости и турбулентность» (НеЗаТеГиУс 2008, 24 февраля – 2 марта, 2008)

Структурные свойства полимерсодержащих магнитных жидкостей

Закинян Артур Робертович

аспирант

Акинина Екатерина Александровна²

студентка

Ставропольский государственный университет, Ставрополь, Россия

E-mail: zakinyan.a.r@mail.ru

Магнитные жидкости (ультрадисперсные коллоиды ферромагнитных веществ), сочетающие свойства текучести и способности интенсивно взаимодействовать с магнитным полем, являются в настоящее время предметом активных исследований. Добавление в такие среды жидких полимерных веществ позволяет придать им ряд интересных структурных, реологических, а также электромагнитных свойств.

В настоящей работе исследуются структурные превращения, происходящие в тонком (~ 100 мкм) слое магнитной жидкости, в которую добавлялись различные жидкие полимеры (каучук, СИЭЛ и др.), подверженном действию внешнего магнитного поля. Исследования проводились в магнитном поле, параллельном слою, и перпендикулярном ему.

При действии магнитного поля, направленного вдоль слоя, содержащего смесь магнитной жидкости с полимером, наблюдалось вытяжение полимерных включений (размеры включений колебались в интервале 10 – 50 мкм) и их трансформация в длинные тонкие волокна, ориентированные вдоль направления поля.

При действии магнитного поля, направленного перпендикулярно слою, наблюдалось образование извилистых нитей полимера, по форме часто напоминающих синусоиды (рис. 1а). С увеличением напряженности внешнего магнитного поля происходило развитие этой структуры в направлении возрастания степени деформированности волокон жидких полимеров и усложнения наблюдаемой картины (рис. 1б).

Наблюдения показали, что существенную роль в образовании структуры играют взаимодействия между полимерными включениями, что также проявляется в зависимости наблюдаемой картины от концентрации полимера в магнитной жидкости. Так при достаточно высоком содержании полимера (~ 40 об. %), в магнитном поле перпендикулярном слою образца наблюдается образование развитой лабиринтной структуры (рис. 1в). При сравнительно малом размере включений (~ 5 мкм) наблюдается формирование гексагональной структуры, в узлах которой располагаются капли полимера. В случае же низких концентраций, когда взаимодействиями между включениями можно пренебречь, отдельные капли полимера образуют структуры, напоминающие «вязкие пальцы».

² Авторы выражают благодарность научному руководителю профессору, д. ф.-м. н. Диканскому Ю. И.

Наблюдаемые микроструктуры указывают на интересные особенности макроскопических свойств таких сред и возможность управления ими магнитным полем.

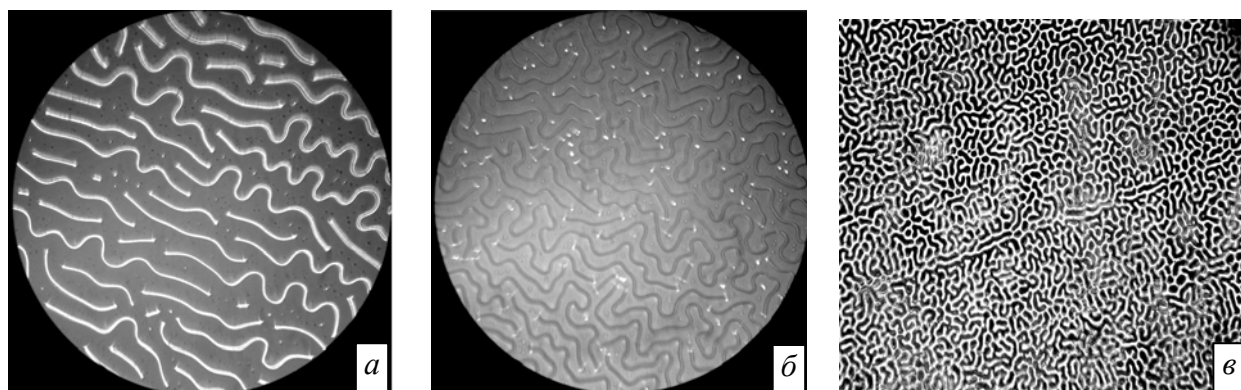


Рис. 1.

Самоорганизация в жидкости: аномальная диффузия наночастиц вблизи пористой поверхности в водных растворах

Иванов Андрей Михайлович¹

ассистент

Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия

E-mail: ridlerg@mail.ru

Вода является наиболее важным представителем ассоциированных жидкостей и играет значительную роль в жизнедеятельности живых организмов. В последнее время вода рассматривается как среда, имеющая кластерное строение, причем некоторые современные исследования доказывают фрактальное строение водных и водно-органических кластеров.

Настоящая работа посвящена экспериментальному исследованию броуновского движения латексных наночастиц ($R=25-35$ нм) в воде вблизи фрактальных поверхностей в водных растворах. В качестве пористых поверхностей использовались анодированный алюминий и кремнезем (С-80, поры $d=40$ нм). Броуновское движение наночастиц изучалось методом фотонной корреляционной спектроскопии (ФКС) молекулярного рассеяния света в кварцевых кюветках, помещенных в термостат с возможностью понижения температуры до 4°C и точностью стабилизации температуры $0,1^{\circ}\text{C}$. Пористость и фрактальность анодированного алюминия была определена с помощью туннельного атомно-силового микроскопа SM-2000.

В работе было установлено, что вблизи зеркальной поверхности алюминиевой пластины (шаг смещения луча составлял 100 мкм) коэффициент диффузии D имел примерно постоянную величину $\approx 6 \cdot 10^{-8}$ см²/с. Для пористой поверхности существовало различие коэффициента диффузии вблизи поверхности и в свободном объеме. При удалении от поверхности на расстояние, большее $1,2$ мм, D асимптотически стремится к своему максимальному значению для «свободной» жидкости. Аналогичные по своему характеру зависимости были получены и для других размеров наночастиц вблизи поверхности анодированного алюминия и кремнезема при различных температурах. Для объяснения полученных зависимостей было сделано предположение, что фрактальная пористая поверхность структурирует близлежащие к поверхности слои воды и поэтому скорость диффузии изменяется с удалением от поверхности по законам аномальной диффузии. Моделирование диффузионных процессов с применением теории броуновского движения на фракталах, позволило определить фрактальную размерность траектории наночастиц и связать ее с топологией приграничной пористой поверхности, рассчитанной методом атомно-силовой микроскопии.

Литература

1. Суханов А.Д. О фрактальной природе аномальной диффузии / А.Д. Суханов, С.Ф. Тимашев // Ж. физ. Химии.-1998.Т.72,№11.-С.2073-2076.
2. Мосолов А.Б. О кинетике диффузионно-контролируемых процессов на фракталах / А.Б. Мосолов // ЖЭТФ.-1991.Т.99,№1.-С.295-300.
3. Кузьмичева А.Н. Исследование влияния структурных особенностей водных систем на фотофизические процессы /А.Н. Кузьмичева, А.В. Потапов –М.: И-во МГУ.-2003.-С.1-8.

¹Автор выражает признательность профессору, д.ф.м.н. Брюханову В.В. за помощь в подготовке тезисов.

Применение TOF SIMS для исследования самодиффузии кислорода в анионных проводниках семейства YSZ.

Кошелев Семен Витальевич¹, Бредихин Иван Сергеевич²

¹*Студент 2 курса физико-химического фак-та*

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

²*Аспирант Института Физики Твердого Тела*

Российской Академии Наук, Черноголовка, Московская обл, Россия

¹*E-mail: magus2006@yandex.ru*

Среди обширного семейства топливных элементов следует выделить твердооксидные топливные элементы (ТОТЭ), основанные на кислород-проводящих твердых электролитах, которые имеют высокий к.п.д (до 60%). В данной работе были проведены сравнительные исследования коэффициентов самодиффузии ионов кислорода в YSZ, одном из основных материалов, используемых в качестве твердого электролитов для твердооксидных топливных элементов.

Плотные образцы были получены с помощью аксиального прессования и последующего отжига при температурах порядка 1500°C в течении 10 часов. При этом плотность образцов составила более 95%.

Для измерения коэффициента диффузии использовался изотопный кислородный обмен. Образцы отжигались в атмосфере изотопа ¹⁸O при различных температурах в большом объеме (100 ml³). Показано, что у образцов YSZ, вследствие их низкой электронной проводимости, недостаточная величина кислородного обмена с атмосферой. Для увеличения кислородного обмена образцы покрывались специальным активационным слоем на основе композитов YSZ с электронными проводниками.

Исследование диффузионных профилей проводилось с помощью методики времяпролетной масс спектроскопии на установке TOF SIMS 5.

В результате работы измерены диффузионные профили изотопов кислорода ¹⁸O и ¹⁶O. На основании зависимости отношения концентраций изотопов от глубины была получена диффузионная кривая для YSZ. Откуда была вычислен его коэффициент диффузии при различных температурах.

Литература

1. Manning P.S., Sirman J.D., Souza R.A., Kilner J.A. (1997) The kinetics of oxygen transport in 9.5 mol% single crystal yttria stabilized zirconia // Solid State Ionics 100, 1-10
2. Ji Y., Kilner J.A., Carolan M.F. (2004) Electrical properties and oxygen diffusion in неекшф-stabilised zirconia (YSZ)-LaSrMnO(LSM) composites // Solid State Ionics

Определение в сверхзвуковом канале скорости предварительно нагретого воздушного потока.

*Кузнецов Игорь Николаевич, Моисеев Владимир Николаевич,
Фирсов Александр Александрович*

Студент, студент, аспирант.

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
Физический факультет, Москва, Россия.*

e-mail: alexander.a.firsov@gmail.com

Настоящая работа является продолжением цикла экспериментов по использованию маломощного импульсного разряда для определения скорости сверхзвукового воздушного потока [1]. По методике, описанной в работе [1], было проведено несколько серий экспериментов по определению скорости сверхзвукового потока в случае, когда воздух, поступающий в канал, предварительно нагревался в термостате. Эксперименты проводились по следующей схеме: в начале термостат, через который проходит воздушный поток, нагревался в течение определенного времени (20–40) минут, затем через равные интервалы (5-10) минут осуществлялись последовательные пуски потока

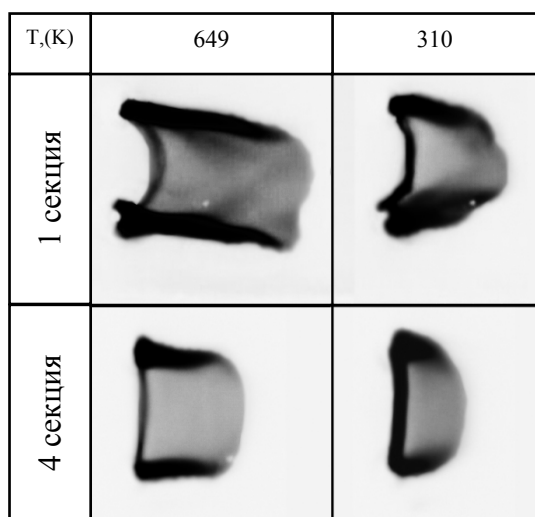


Рис.1

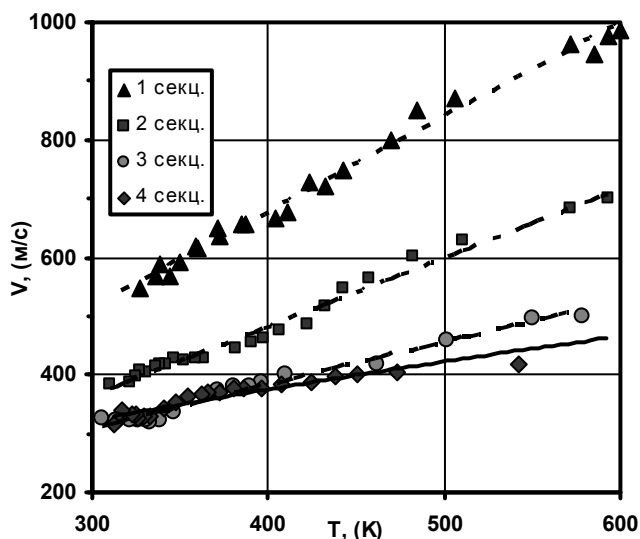


Рис.2

воздуха. Температура потока определялась при помощи калиброванной термопары, размещенной на входе в секцию сверхзвукового сопла. Типичные фотографии плазменной струи, созданной маломощным импульсным источником в двух различных секциях канала (1-ой и 4-ой), приведены на рис. 1. Полученные зависимости продольной скорости потока от температуры воздушного потока на входе в сверхзвуковой канал показаны на рис. 2. Как следует из приведённых данных, с увеличением температуры потока его скорость возрастает. Однако форма зависимости скорости потока от температуры в различных секциях канала не одинакова. Такое поведение зависимостей скорости потока от температуры, очевидно, связано с конструктивными особенностями канала. В то же время наблюдается практически полное совпадение изменения скорости в 3й и 4й секциях.

Результаты по определению скорости сверхзвукового потока при помощи импульсного разряда сравниваются с данными, полученными из обработки сигналов с датчиков давления, которые располагались по длине сверхзвукового канала.

Литература.

1. Ильченко Д.С., Каменщиков С.А., Фирсов А.А. Об одном методе определения скорости потока в сверхзвуковом канале. Материалы докладов XIV Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов». <http://lomonosov-msu.ru/2007/18/kamenschikov.doc.pdf>

Исследование физических свойств многокомпонентных углеводородных смесей методом рассеяния света в окрестности критической точки жидкость-пар

Курьяков В.Н., Городецкий Е.Е., Дешабо В.А., Косов В.И., Юдин Д.И., Юдин И.К.

инженер-исследователь

Институт проблем нефти и газа РАН, Москва, Россия

E-mail: kouryakov@OGRI.ru

В настоящей работе исследована трехкомпонентная углеводородная смесь метан-пропан-пентан с мольной концентрацией 0.5-0.35-0.15, соответственно. Основным методом исследования было измерение статического и динамического рассеяния света в широком интервале термодинамических параметров системы. В частности, с целью определения критических параметров смеси температурные зависимости интенсивности и спектрального состава рассеянного света были измерены на одиннадцати различных изохорах, включая критическую. В широкой окрестности критической точки были определены: фазовая диаграмма данной смеси, аномалия интенсивности рассеянного света и коэффициента диффузии смеси, а также, определена критическая температура с погрешностью 0,05 К (0,1%) и критическая плотность с погрешностью 0,02 (6%) г/см³.

Высокая точность экспериментальной техники позволила также проверить такие тонкие эффекты, как ренормировки критических показателей и другие универсальные соотношения, вытекающие из флуктуационной теории критических явлений.

Разработанная экспериментальная техника позволяет с высокой точностью определять критические параметры многокомпонентных газовых смесей, что является важной задачей в разработке нефтегазовых месторождений.

Исследование распространения газовых потоков в инжекторном тракте при импульсном газонапуске

Листопад Александр Алексеевич

Аспирант 2 года

Институт ядерной физики имени Г.И.Будкера СО РАН

alexlist@yandex.ru

К настоящему времени в ИЯФ СО РАН накоплен большой опыт по созданию инжекторов быстрых нейтральных частиц. Такие устройства широко используются для нагрева плазмы в термоядерных установках, а также служат удобным инструментом для ее диагностики. Данная работа была выполнена в ходе проектирования инжекторного тракта нагревного квазистационарного инжектора мегаваттной мощности, создаваемого по международному заказу. Актуальность работы связана с выдвинутыми заказчиком жесткими требованиями по натеканию остаточного газа в объем установки ($\sim 0,1 \text{ л} \cdot \text{Торр/с}$, при предполагаемом газонапуске 20-30 л·Торр/с).

В ходе данной работы была разработана принципиальная схема инжекторного тракта, которая состоит из главного бака, трубы нейтрализатора, центральной диафрагмы, двух крионасосов, магнитного сепаратора для разделения пучка на нейтральную и заряженную фракции, и приемника заряженной компоненты пучка. В данной конструкции реализована дифференциальная откачка. Объем разделен диафрагмой на два модуля, расположенных последовательно, в каждом из которых установлен мощный крионасос (скорость откачки около 80000 л/с). Такая схема позволяет в разы повысить эффективность откачки, и на порядок снизить натекание остаточного газа в объем установки.

В процессе разработки инжекторного тракта было предложено несколько вариантов компоновки элементов. Главным образом это касалось геометрии бака и центральной диафрагмы для максимально эффективного распределения потоков газа на крионасосы и обеспечения требуемых значений давления и газового потока на выходе из инжекторного тракта. Кроме того, рассматривались различные геометрии трубы нейтрализатора с целью получения необходимой плотности перезарядной мишени ($\sigma_{\text{пл}} \gg 1$) при минимальном наддуве мишенного газа, исследовались варианты разных по форме и мощности крионасосов.

Каждый вариант инжекторного тракта был рассчитан на программе CreatVac2.0. Программа позволяет проводить численное моделирование течения газовых потоков в вакуумных системах методом стохастической динамики [1].

Для каждого варианта рассчитаны потоки газа на криогенные насосы и выходящий из инжектора сопутствующий поток. Определен профиль распределения газа в инжекторном тракте и динамика установления равновесной плотности мишени нейтрализатора. Вычислена доля обдирки нейтрального пучка на молекулах остаточного газа (данная величина составила 5%, что удовлетворяет заявленным требованиям).

Проведенные расчеты были экспериментально подтверждены в ходе серии тестовых измерений динамики давления газа в первом и во втором модулях бака, при импульсном газонапуске с различными значениями газовых потоков и длительности импульсов. В качестве измерителя давления использовался магниторазрядный вакууметр фирмы Pfeiffer, аналоговый сигнал с которого измерялся с помощью цифрового осциллографа Tektronix. Во всех случаях наблюдалось хорошее согласие экспериментальных данных с результатами компьютерных моделей.

Литература:

1. А.С.Кривенко, В.И.Давыденко, А.А.Иванов, А.Н.Драничников «Моделирование нестационарного профиля нейтрального газа в инжекторе атомов водорода методом стохастической динамики», Препринт ИЯФ 2000-70. Новосибирск, 2000.

Расчет температурного поля пламени по его цифровому изображению

Медведев Антон Иванович

студент

Сургутский государственный университет ХМАО, Сургут, Россия

E-mail: Fyn2004@gmail.com

Введение

В последние годы технические возможности цифровой видеотехники, как бытовой, так и научной развиваются со значительным опережением методов использования информационных технологий в получении и обработке изображений в научных исследованиях. Так, например, информация, содержащаяся в ПЗС-матрице фото-кинокамеры, может быть обработана множеством пакетов прикладных математических программ с целью получения информации о распределении энергии излучения на изображении визуализируемого объекта.

В данной работе метод цифровой фотометрии применяется для исследования изменения температуры во фронте стехиометрического пропано-воздушного пламени при его обращении.

Выбор объекта исследования обусловлен двумя причинами:

- особенностью самопроизвольного формирования вихревых структур в обращенном пламени, существенно увеличивающих интенсивность тепло-массообмена в камерах сгорания энергетических устройств;
- влиянием «обращения» пламени на соотношение между нормальным и тангенциальным тепловыми потоками на поверхности фронта пламени, что представляет фундаментальный интерес с точки зрения возможности получения «спинового» фронта пламени при горении газовых смесей.

Данная работа направлена на достижение двух целей, связанных друг с другом. Первая из них – исследование влияния касательной компоненты скорости горючего газа на тепловой поток вдоль фронта пламени, изменяющий местоположение максимума температуры в обращенном и бунзеновском ламинарном пламени. Вторая заключается в апробации и усовершенствовании нового дистанционного точного метода измерения распределения концентраций и температур в пламенах топочных устройств и факелов, образующихся при сжигании попутного газа. Метод использует последние достижения информационных технологий в области обработки цифровых изображений для получения полной информации о фотографируемом объекте.

Литература

1. Строкатов А.А. Физическое моделирование огненных и тепловых смерчей: Дисс. на соискание степени канд. физико-мат. наук / А.А. Строкатов; Томский гос. ун-т. – Томск, 2007. – 132 с.
2. Аbruков С.А. Теневые и интерференционные методы исследования оптических неоднородностей / С.А. Аbruков. - Казань. Казанский университет, 1962. – 83 с.
3. Хауф В. Оптические методы в теплопередаче / В. Хауф, У. Григуль. - М.: Мир, 1973. – 240 с.
4. Самсонов В.П. Измерение локальных тепловых потоков при теплообмене поверхности с вихревой структурой / В.П. Самсонов // Письма в Журнал технической физики. – 2003. – Т. 29, вып. 18. – С. 70-74.

Деформации капли намагничивающейся жидкости при ее вращении в однородном магнитном поле

Мкртчян Левон Спартакович³

студент

Ставропольский государственный университет, Ставрополь, Россия

Магнитные жидкости – коллоидные магнитные наносистемы, способные эффективно взаимодействовать с магнитным полем. Одним из наглядных примеров такого взаимодействия является деформация капель магнитной жидкости при воздействии на них однородного магнитного поля. Такая деформация капель обусловлена стремлением к состоянию, соответствующему минимуму полной энергии капли, складывающейся из поверхностной и магнитостатической энергий и не наблюдается для обычных жидкостей, вследствие пренебрежимо малой величины магнитостатической энергии по сравнению с поверхностной. Вместе с тем, капля любой жидкости может существенно менять свою форму, вследствие ее вращения, что используется на практике (например, для измерения поверхностного натяжения жидкостей). В настоящей работе предпринята попытка исследовать особенности деформации капли магнитной жидкости, вызванной действием магнитного поля и одновременным ее вращением.

Первоначально трубка приводилась во вращение при отсутствии магнитного поля, при этом капля деформировалась, вытягиваясь вдоль оси трубки. Схема установки для изучения деформационных эффектов капли магнитной жидкости в магнитном поле представлена на рис. 1. Оказалось, что величину деформации капли можно регулировать с помощью дополнительного действия магнитного поля – при небольшом вытяжении удавалось уменьшить деформацию капли и, в некоторых случаях, даже восстановить ее сферическую форму. На рис. 2 представлена компенсационная зависимость деформации капли, построенная в координатах $B - \omega$. В некоторых случаях, когда величина компенсирующего поля достаточно велика, капля приобретает форму цилиндра с вогнутыми закругленными краями. При достаточно больших скоростях вращения капли, когда ее деформация за счет вращения значительна (форма капли в этом случае трансформируется из сферической в цилиндрическую) дополнительное действие магнитного поля приводит к делению деформированной капли на две капли, форма которых может также регулироваться путем дальнейшего изменения напряженности поля.

Теоретический анализ особенностей деформации вращающейся намагничивающейся капли был проведен с помощью энергетического подхода, на основе анализа полной энергии капли, включающей в виде составляющих ее компонент магнитную энергию, энергию поверхностного натяжения и потенциальную энергию сил инерции. В заключении показаны возможности использования наблюдаемого эффекта (для измерения магнитных свойств магнитных жидкостей, межфазного натяжения, частоты вращения)

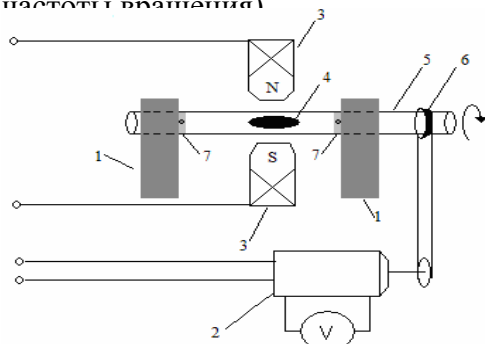


Рис. 1. Экспериментальная установка: 1 – держатели; 2 – электродвигатель; 3 – электромагнит; 4 – капля МЖ; 5 – стеклянная трубка; 6 – шкив; 7 – подшипники скольжения.

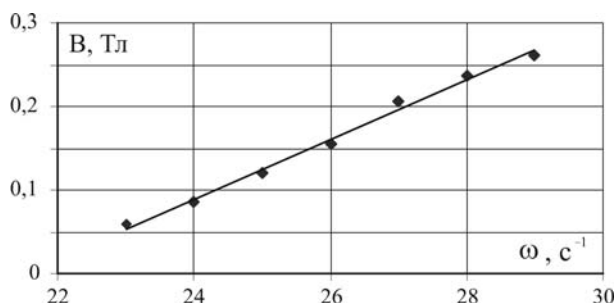


Рис. 2.

³ Автор выражает благодарность научному руководителю профессору, д. ф.-м. н. Диканскому Ю. И.

Оптическая диагностика тепловой гравитационно – капиллярной конвекции в горизонтальных слоях жидкости со свободной поверхностью

Помыткина Анна Сергеевна¹

студент

Новосибирский Государственный Технический Университет, Физико-технический факультет, Новосибирск, Россия

E-mail:arbuzov@itp.nsc.ru

Экспериментальные исследования тепловой гравитационно-капиллярной конвекции в горизонтальном слое при подогреве снизу направлены на решение фундаментальных вопросов ламинарно-турбулентного перехода и задач, возникающих при разработке технологических процессов выращивания кристаллов разными способами [1].

В представляемой работе сообщается об экспериментальном исследовании тепловых и конвективных потоков в слое жидкости методами бихроматической гильберт–визуализации поверхностных динамических структур. Исследовался горизонтальный слой жидкости со свободной поверхностью. Нижняя поверхность слоя подвергалась контролируемому нагреву. Использовались: полиэтилсилоксановая жидкость ПЭС–5 и подсолнечное масло. Возникающие на поверхности динамические структуры в виде ячеек Бенара визуализировались автоколлимационным оптическим процессором с бихроматической фильтрацией Фуко–Гильберта [2]. Регистрировались процессы формирования и эволюции ячеек Бенара как пример самоорганизации упорядоченных структур в открытых системах. Бихроматическая гильберт–визуализация позволяет получать информацию в динамике о пространственной рельефной структуре ячеек Бенара на верхней поверхности жидкости и оценивать зависимость эволюции структуры этих ячеек от температурного градиента.

На рис. 1 приведены примеры визуализации поверхностной структуры для жидкостей ПЭС–5 и масла при различных температурных градиентах. Эти хронофотографии взяты из фильмов, иллюстрирующих формирование и эволюцию динамических структур при различных режимах нагревания нижней поверхности слоя жидкости.

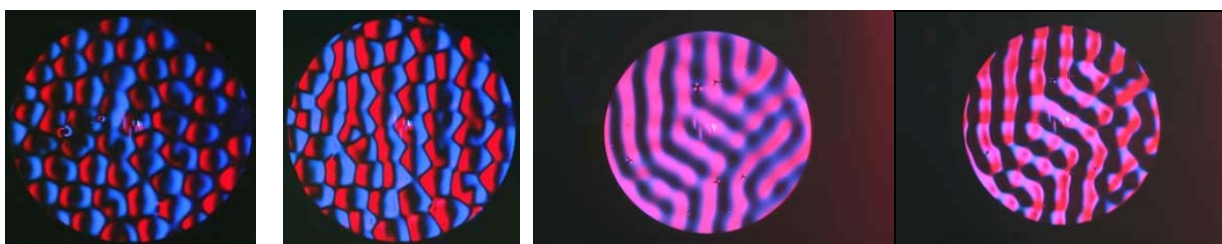


Рис. 1

Литература

1. Бердников В.С., Марков В.А. (2006) Ламинарно–турбулентный переход в Рэлей–Бенаровской конвекции // Труды Четвертой Российской национальной конференции по теплообмену, т. 3 // Свободная конвекция. Теплообмен при химических превращениях . – М.: Изд-во дом МЭИ, 2006. – 358 с.
2. Дубнищев Ю.Н., Арбузов В.А., Белоусов П.П., Белоусов П.Я. (2003) Оптические методы исследования потоков // Новосибирск: Сиб. унив. изд-во, 2003. – 418 с.

Автор выражает признательность профессору, д.т.н. Дубнищеву Ю.Н. и в.н.с., д.т.н. Арбузову В.А. за помощь при подготовке тезисов.

Сажеобразование в пламени жидкого углеводородного топлива

Порфирьев Александр Михайлович

Аспирант 1-го года обучения

*Чувашский государственный педагогический университет им. И.Я. Яковлева,
Чебоксары, Россия*

Углеводородные топлива при горении в свободно-конвективном режиме образуют светящее пламя и коптящий шлейф сажи. Оптические свойства пламени, как излучение света, так и поглощение света в пламени являются одними из характерных параметров факельного режима горения.

В работе экспериментально изучалось излучение и поглощение света пламен бензина, керосина и дизельного топлива. Сжигание топлив производилось с круглой горелки с помощью фитиля. Бензин, сгорая, почти не образует коптящегося шлейфа, тогда как керосин и дизельное топливо образуют плотные шлейфы.

Используя метод проноса оптического датчика перед пламенем вдоль диаметральной плоскости, получали распределение яркости участков пламени. Перемещение датчика управлялось компьютером и одновременно записывалось для фиксированной координаты оцифрованное значение яркости. Обработка полученных данных методами одноракурсной томографии позволяет выделить узкую зону свечения диффузионного пламени. Толщина этой зоны меняется с высотой над горелкой и, прежде всего, зависит от скорости диффузии кислорода из окружающего воздуха. Свечение пламени и ее цвет определяются свечением частиц сажи. Излучательная способность частиц сажи близка 0,96, поэтому основная доля излучения пламени приходится на излучение сажи.

Однако часть топлива не успевает выгорать до углекислого газа и воды, и часть молекул углеводорода превращается в частицы сажи. Образовавшиеся частицы сажи частично выгорают, другая часть коагулирует, образуя более крупные частицы. Первичные частицы имеют размеры в поперечнике 5 нм.

Процесс сажеобразования интенсивен в тех областях пламени, где температура достаточно высокая, а доступ кислорода воздуха ограничен. Эта область примыкает непосредственно к светящей части пламени. В этих областях яркость пламени с увеличением высоты резко уменьшается. Тем выше молекулярная масса топлива, тем эта высота ближе расположена к устью горелки. Градиент уменьшения яркости пламени по высоте отличается для разных топлив.

С дальнейшим увеличением высоты в коптящемся шлейфе происходят различные оптические явления. Поглощение света с увеличением высоты уменьшается с 60% до 27% (светильный керосин), что, вероятно, вызвано с объемными процессами коагуляции частиц сажи. С уменьшением температуры продуктов сгорания процессы коагуляции частиц сажи меняются в пространстве. В центральной части потока размеры частиц почти не меняются, а в периферийных областях потока размеры частиц увеличиваются, что приводит к более сильному поглощению света.

В двухфазных потоках, где размеры частиц меньше длины волны или соизмеримы с ней, затухание излучения может быть вызвано рассеянием света и поглощением ее. Явление поглощения зависит от величины мнимой части показателя преломления света. В видимой части спектра и в ближнем инфракрасном диапазоне излучения мнимая часть показателя преломления для углерода близка к единице, поэтому в затухании излучения явное преобладание имеет поглощение света.

**К вопросу о движении газового пузырька
в двухслойной среде - магнитная и немагнитная жидкость
в однородном внешнем магнитном поле.**

Травкина Татьяна Васильевна

аспирант

Ставропольский государственный университет, Ставрополь, Россия

E-mail: travkinatv@mail.ru

Экспериментально и теоретически изучались закономерности движения газового пузырька при всплытии его в двухслойной системе - магнитная и немагнитная жидкость, при воздействии внешнего магнитного поля.

Эксперимент заключался в следующем: цилиндрический стеклянный контейнер заполнялся снизу непрозрачной магнитной жидкостью, а сверху несмешивающейся с ней прозрачной немагнитной жидкостью (водой). Магнитная жидкость представляла собой коллоидный раствор магнетита в керосине, стабилизированный олеиновой кислотой с намагниченностью насыщения 51кА/м. Со дна сосуда в объеме магнитной жидкости через трубку диаметром 0,02м, выдувался газовый пузырек. Поднимаясь со дна сосуда пузырек подходил к границе раздела магнитная и немагнитная среда и, пронизывая эту границу, захватывал некоторый объем магнитной жидкости. Далее пузырек, заполненный магнитной жидкостью, всплывал прозрачной немагнитной жидкости, перемещаясь по сложно-винтовой траектории в приложенном внешнем однородном магнитном поле, создаваемом катушками Гельмгольца. Процесс всплытия пузырька, заполненного магнитной жидкостью, фиксировался цифровой видеокамерой.

По результатам наблюдений была предпринята попытка решения первой задачи динамики – по закону движения тела восстановить систему сил, действующих на это тело. С помощью пакета MathCad была построена траектория движения пузырька и найден вид поверхности, по которой происходит движение пузырька в прозрачной жидкости. Найденная поверхность, представляла собой сложную аperiodически выпуклую поверхность вращения. Были выписаны выражения закона движения пузырька и силы сопротивления, действующей со стороны прозрачной немагнитной жидкости на пузырек газа, заполненный каплей магнитной жидкости.

Наблюдения показывали, что в процессе движения пузырек ориентируется действующими на каплю магнитной жидкости силами магнитного поля, совершая малые колебания относительно направления внешнего магнитного поля. Пульсирующая форма пузырька мало отличается от эллипсоида вращения с большой полуосью, ориентированной вдоль вектора внешнего магнитного поля. Газ в объеме пузырька заключен между поверхностями, ограничивающими пузырек со стороны немагнитной жидкости и поверхностью капли магнитной жидкости, заключенной в объеме пузырька. Наличие газовой прослойки в пузырьке и приводит к колебаниям его поверхности, определяющим характер его движения. Капля жидкости, освобожденная от окружающего ее газа, при выходе пузырька на свободную поверхность, падает вниз по совершенно другому закону, чем закон, по которому происходит всплытие пузырька, в котором расположена эта капля жидкости. Закон падения капли – равномерное, практически прямолинейное движение.

Применение взаимной корреляционной функции для определения скорости сверхзвукового потока.

Фирсов Александр Александрович

Сотрудник

Объединённый институт высоких температур РАН, Москва, Россия.

e-mail: alexander.a.firsov@gmail.com

В настоящей работе предлагается использовать рефракционный метод для прямого измерения скорости сверхзвукового потока при различных температурах газа.

В турбулентном потоке локальные значения таких параметров, как температура, давление и плотность, флуктуируют относительно их средних значений. Такие флуктуации движутся со скоростью потока. Теневые методы диагностики показывают, что аналогичным образом себя ведут интегральные значения плотности потока, где интеграл берётся по траектории зондирующего луча [1]. Таким образом, задача определения скорости потока сводится к задаче об определении скорости смещения интегральных флуктуаций плотности.

За основу способа взят рефракционный метод определения скорости ударной волны [2]. Отличие заключается в том, что полезный сигнал от флуктуаций настолько слаб, что полученные данные требуют дополнительной математической обработки.

Принципиальная схема установки показана на рис.1.

В качестве источника света использованы 2 лазерных диодных модуля с длиной волны 655нм и мощностью выходного излучения 6 мВт каждый. Свет от источников, пройдя сверхзвуковой поток (1) и зеркало (3), попадает на фотодиоды (4). Зеркало установлено для увеличения базы оптической системы в ограниченном пространстве. Длина базы L_0 составляет 4м. Сигнал с фотодиодов поступает на входы двухлучевого осциллографа (5), после чего передаётся на компьютер. Скорость определяется как отношение расстояния между лучами X , составляющего 10 – 20 мм, ко времени корреляции сигналов τ , определяемому с помощью формализованной процедуры, реализованной на LabVIEW 7.1.

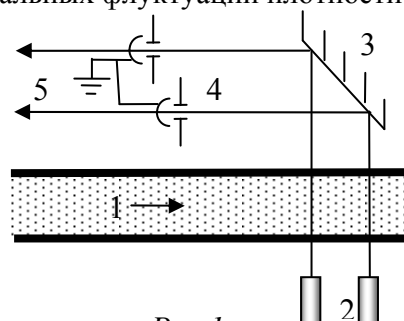


Рис. 1.

На вход программы подаются сигналы длительностью порядка 200мс с разрешением 10точек/мкс с обоих каналов осциллографа. Программа разбивает зависимости фототока от времени с первого и второго фотодиодов на фрагменты по 300 – 700 мкс, вычитает из них смещения, соответствующие механическому шуму, приводит физическую амплитуду сигналов к машинной [-1, 1], после чего для каждой пары предварительно обработанных фрагментов рассчитывает взаимную корреляционную функцию (ВКФ), типичный вид которой представлен на рис.2.



Рис. 2.

Время корреляции сигналов τ_i есть время, соответствующее абсолютному максимуму корреляционной функции. В ходе разбиения временного интервала на отрезки каждому фрагменту сопоставляется момент времени T_i , равный $(t_{end} + t_{start})/2$, где t_{start} и t_{end} – времена начала и окончания фрагмента соответственно. По полученным τ_i , T_i и введённому X программа строит зависимость скорости потока от времени.

Полученные величины совпадают со значениями, измеренными по газодинамическим данным.

Литература.

1. Васильев Л.А. Теневые методы. - М.: Наука, 1968.
2. Зайдель А.Н., Островская Г.В. Лазерные методы исследования плазмы. Л.: Наука, 1977.

Равновесные формы поверхности висящей капли магнитной жидкости в магнитном поле

Ярцева Елена Павловна
аспирант

Ставропольский государственный университет, Ставрополь, Россия

E-mail: yartseva_elena@mail.ru

В данной работе проводилось наблюдение за процессом квазистационарного роста и отрыва капель магнитной жидкости при истечении из капиллярного отверстия плоской неограниченной немагнитной подложки во внешних силовых полях, в магнитном поле и поле силы тяжести.

Магнитная жидкость, используемая в экспериментах, представляла собой коллоидную дисперсию магнетита в керосине, стабилизированную олеиновой кислотой. В экспериментах изменялась концентрация магнитной фазы в жидкости. Из концентрированного состава магнитной жидкости с намагниченностью 50,9 кА/м, плотностью 1447 кг/м³ и вязкостью 8,1·10⁻³ Па·с путем разбавления дисперсионной средой – керосином получали два других состава магнитной жидкости с плотностью 1030 кг/м³ и вязкостью 4,6·10⁻³ Па·с, а также с плотностью 900 кг/м³ и вязкостью 3,2·10⁻³ Па·с соответственно.

Схема экспериментальной установки и методика проведения эксперимента соответствовала описанной в работе [1]. Процесс формирования капли фиксировался цифровой видеосъемкой. Измерение объема отрывающейся капли проводилось как без включения, так и при включенном магнитном поле. В проведенных экспериментах величина напряженности магнитных полей изменялась от 0 до 7 кА/м.

Эксперименты показали, что в магнитном поле поведение капли магнитной жидкости на поверхности подвеса существенно изменялось с увеличением напряженности магнитного поля. В магнитном поле происходило увеличение объема отрывающейся части капли магнитной жидкости, которое в работе связывается с увеличением капиллярных сил, удерживающих каплю на поверхности подвеса, за счет вытяжения ножки капли в направлении приложенного поля.

Экспериментально и теоретически изучалась форма капли в процессе ее квазистатического роста. Выписано условие равновесия свободной поверхности магнитной жидкости на границе с немагнитной средой. Уравнение равновесия представляло собой интегро-дифференциальное уравнение, которое при сделанных допущениях приводилось к нелинейному обыкновенному дифференциальному уравнению второго порядка. Решение уравнения проводилось численно при заданных из эксперимента граничных условиях (краевой угол и объем капли). В результате численных экспериментов установлены границы устойчивости решения уравнения равновесия свободной поверхности магнитной жидкости и объяснены механизмы формирования и отрыва отдельных частей капли. Анализ численных решений показал, что форма капли магнитной жидкости и объем отрывающейся части капли с увеличением размеров капли определяются парой жидкость – поверхность подвеса, поверхностным натяжением жидкости, ее магнитными свойствами и величиной внешнего магнитного поля и не зависят от вязкости и других механических характеристик жидкости.

Литература

1. **Simonovsky A. Ya., Chuenkova I. Yu., Yartseva E.P.** (2007) Separation of a magnetic fluid drop from a non-magnetic surface in a magnetic field // Magnetohydrodynamics, № 43(1), pp. 27-34.