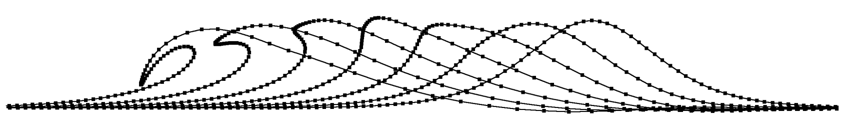
РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ

4-я ВСЕРОССИЙСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
С УЧАСТИЕМ ЗАРУБЕЖНЫХ УЧЕНЫХ

ЗАДАЧИ СО СВОБОДНЫМИ ГРАНИЦАМИ: ТЕОРИЯ, ЭКСПЕРИМЕНТ И ПРИЛОЖЕНИЯ

Бийск, 5 – 10 июля 2011 г.

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ



НОВОСИБИРСК
2011

Российская академия наук, Сибирское отделение
Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева
Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе
Институт вычислительного моделирования
Бийский технологический институт АлтГТУ
Алтайский государственный университет

4-я Всероссийская конференция
с участием зарубежных ученых

ЗАДАЧИ СО СВОБОДНЫМИ ГРАНИЦАМИ: ТЕОРИЯ, ЭКСПЕРИМЕНТ И ПРИЛОЖЕНИЯ

Бийск, 5 – 10 июля 2011 г.

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

НОВОСИБИРСК
2011

ЗАДАЧИ СО СВОБОДНЫМИ ГРАНИЦАМИ: ТЕОРИЯ, ЭКСПЕРИМЕНТ И ПРИЛОЖЕНИЯ

Тезисы докладов 4-й Всероссийской конференции с участием зарубежных ученых. 5 – 10 июля 2011 года, Бийск.

Задачи со свободными границами отличаются богатством содержания и многообразием приложений - от технологических процессов до проблем окружающей среды и рационального природопользования. В 2002, 2005, 2008 гг. в Бийске прошли три Всероссийские конференции по этой тематике. В них участвовали представители более чем 20 организаций из 12 городов России, а также ученые из ближнего и дальнего зарубежья. Неформальное взаимодействие математиков и физиков, теоретиков и экспериментаторов способствовало обогащению тематики конференции и установлению деловых контактов.

В сборник включены тезисы докладов, посвященные следующим вопросам:

- поверхностные и внутренние волны, стратифицированные течения;
- взаимодействие волн с деформируемыми конструкциями;
- волновые движения тонких пленок, термокапиллярная конвекция;
- фазовые переходы в подвижных средах;
- процессы межфазного взаимодействия в гетерогенных системах;
- МГД и ЭГД течения со свободной поверхностью;
- технологические приложения.

ОРГКОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

Председатель:
В.В. Пухначёв – чл.-корр. РАН (Новосибирск);

Зам. председателя:
Т.А. Боднарь – д.т.н. (Бийск);
А.Г. Казанцев – к.т.н. (Бийск);

Секретарь:
Е.Ю. Мещерякова – к.ф.-м.н. (Новосибирск);

Члены Оргкомитета:
Алексеенко С.В. – чл.-корр. РАН (Новосибирск);
Андреев В.К. – д.ф.-м.н. (Красноярск);
Афанасьев К.Е. – д.ф.-м.н. (Кемерово);
Ерманюк Е.В. – д.ф.-м.н. (Новосибирск);
Князева А.Г. – д.ф.-м.н. (Томск);
Кузнецов В.В. – д.ф.-м.н. (Новосибирск);
Леонов Г.В. – д.т.н. (Бийск);
Макаренко Н.И. – д.ф.-м.н. (Новосибирск);
Накоряков В.Е. – академик РАН (Новосибирск);
Никулин В.В. – д.ф.-м.н. (Новосибирск);
Петрова А.Г. – к.ф.-м.н. (Барнаул);
Плотников П.И. – чл.-корр. РАН (Новосибирск);
Сагалаков А.М. – д.ф.-м.н. (Барнаул);
Франк А.М. – д.ф.-м.н. (Красноярск);
Фроловская О.А. – к.ф.-м.н (Новосибирск);
Хабахпашева Т.И. – д.ф.-м.н (Новосибирск);
Цвелодуб О.Ю. – д.ф.-м.н. (Новосибирск);
Шелухин В.В. – д.ф.-м.н. (Новосибирск);
Яворский Н.И. – д.ф.-м.н. (Новосибирск).

Конференция проходит при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 11-01-06058).

ТЕРМОКАПИЛЛЯРНЫЕ ВОЛНЫ В ПЛЕНКЕ ЖИДКОСТИ

С.П. Актершев

Исследуются условия волнообразования в нагреваемой пленке жидкости при наличии термокапиллярного эффекта. В первой части работы рассмотрена устойчивость пленки для случаев фиксированной температуры подложки и фиксированного теплового потока. Выведено уравнение для возмущения профиля температуры и получено его решение для произвольных значений числа Пекле. Установлено, что для вертикальной пленки термокапиллярный эффект приводит к расширению области неустойчивости только при небольших значениях числа Пекле, а при больших значениях происходит сужение области неустойчивости. Изучено влияние угла наклона к горизонту на характеристики термокапиллярных волн (рис.1). Во второй части численными методами моделируются стационарно бегущие волны. Результаты численных расчетов хорошо согласуются с линейной теорией устойчивости.

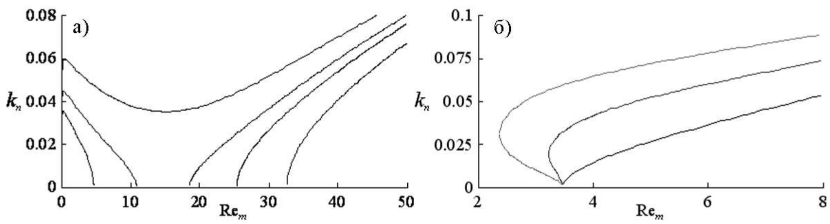


Рис.1 Нейтральные кривые при различных значениях числа Марангони.
(а) фиксирована температура подложки, (б) фиксирован тепловой поток

ТЕПЛОПЕРЕНОС В ЛАМИНАРНО-ВОЛНОВЫХ СТЕКАЮЩИХ ПЛЕНКАХ ЖИДКОСТИ

С.П. Актершев

Интенсивное изучение свободно стекающих тонких пленок жидкости связано с их широким использованием в технике. Как известно, даже при ламинарном течении наличие волн на поверхности пленки существенно интенсифицирует тепломассоперенос. В данной работе численным методом исследуется теплоперенос в ламинарно-волновой пленке вязкой жидкости, стекающей по нагреваемой подложке. Результаты расчетов [1] демонстрируют влияние физических свойств жидкости (чисел Прандтля, Био) и параметров волнового течения на интенсификацию теплопереноса стационарно бегущими волнами (рис.1).

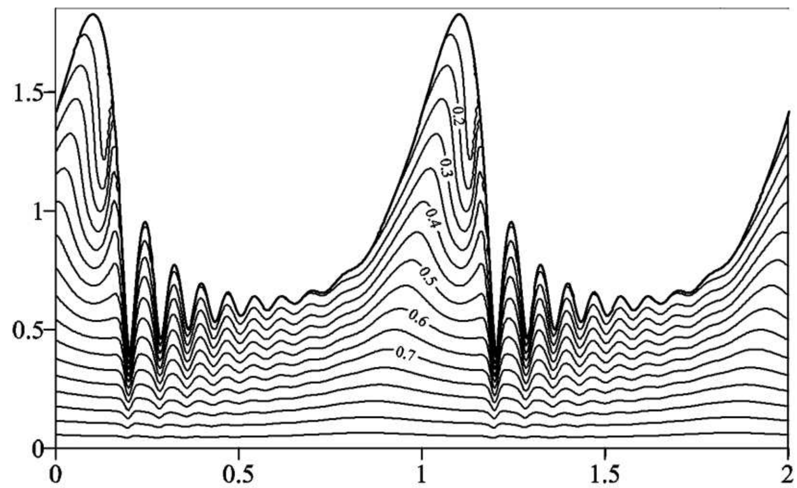


Рис. 1. Изотермы в пленке (фиксирована температура пластины)

Литература:

1. Актершев С. П. Теплоперенос в ламинарно-волновых стекающих пленках жидкости //Теплофизика и аэромеханика. 2010. Т. 17. № 3, с. 385-396.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ПАРОВОЙ ПОЛОСТИ ПРИ ВЗРЫВНОМ ВСКИПАНИИ

С.П. Актершев, В.В. Овчинников

В данной работе исследуется динамика вскипания жидкости на поверхности нагревателя. При больших значениях перегрева в метастабильной жидкости формируются фронты испарения, распространяющиеся вдоль нагревателя с постоянной скоростью [1]. Проведены расчеты критического перегрева относительно температуры насыщения $\Delta T^*=(T_w - T_s)$ (рис. 1) и скорости фронта испарения V (рис. 2, 3) для жидкого натрия, используемого в качестве теплоносителя в реакторах на быстрых нейтронах. Результаты численного моделирования роста парового образования хорошо согласуются с имеющимися экспериментальными данными для воды, азота и различных органических жидкостей [2].

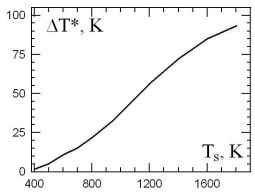


Рис. 1

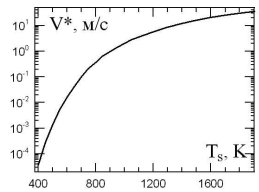


Рис. 2

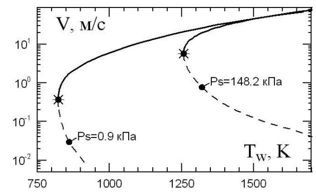


Рис. 3

Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации НШ 8888.2010.8.

Литература:

1. Актершев С.П., Овчинников В.В. Модель стационарного движения межфазной поверхности в слое сильно перегретой жидкости // Прикладная механика и техническая физика. 2008. № 2. С. 47-55.

2. Актершев С.П., Овчинников В.В. Модель вскипания сильно перегретой жидкости с формированием фронта испарения // Теплофизика и Аэродинамика. 2011. Т. 18. № 3.

ВЛИЯНИЕ ГИСТЕРЕЗИСА КРАЕВОГО УГЛА НА ДИНАМИКУ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ КАПЛИ

А.А. Алабужев

В представленной работе исследуется влияние гистерезиса краевого угла на колебания цилиндрической капли жидкости. Капля ограничена в осевом направлении параллельными твердыми плоскостями. Равновесный краевой угол между боковой поверхностью капли и твердой пластиной предполагается прямым. Движение контактной линии учитывается с помощью эффективного граничного условия [1]: скорость движения контактной линии прямо пропорциональна углу отклонения и движение контактной линии возможно, если значение краевого угла превышает некоторое критическое значение. На систему действует внешняя высокочастотная вибрационная сила, направление вибраций параллельно оси симметрии капли. Амплитуда вибрации мала по сравнению с характерными размерами капли. Построены диаграммы областей движения контактной линии в зависимости от частоты вибрации и критического краевого угла при разных значениях. Вычислена амплитуда максимального отклонения боковой поверхности в зависимости от частоты внешнего воздействия. Показано существование антирезонансных частот, аналогично работе [2], когда контактная линия неподвижна при ненулевой частоте.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ № МК-2368.2011.1.

Литература:

1. Hocking L.M. Waves produced by a vertically oscillating plate, J. Fluid Mech. 179, 267 (1987).

2. Fayzrakhmanova I., Straube A. Stick-slip dynamics of an oscillated sessile drop. Phys. Fluids 21, 072104 2009.

ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА КОНВЕКЦИЮ МАРАНГОНИ В ТОНКОЙ ПЛЕНКЕ

А.А. Алабужев, М.В. Хеннер

В данной работе изучается влияние вертикальных вибраций на длинноволновую конвекцию Марангони в тонкой пленке жидкости, подогреваемой снизу. Твердая нижняя граница предполагается идеально теплопроводной. Период вибраций сравним с характерным временем эволюции пленки, их амплитуда сравнима с толщиной слоя. Показано, что в данных условиях вибрационное воздействие приводит лишь к модуляции силы тяжести в амплитудном уравнении, полученном в работе [1].

Исследование устойчивости показало, что в отсутствие шума вибрации не меняют порог возникновения конвекции; при наличии шума имеет место дестабилизация слоя. Нелинейные расчеты подтвердили последний вывод - обнаружено подкритическое возникновение конвекции.

Проведен также асимптотический анализ, описывающий переход с увеличением частоты вибраций от параметрического воздействия к осредненному описанию, сходному с [2].

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 11-01-96001-р_урал_а и гранта Президента РФ № МК-2368.2011.1.

Литература:

1. Копбосынов Б.К., Пухначев В.В. Термокапиллярное движение в тонком слое жидкости // Гидромеханика и процессы переноса в невесомости. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1983. С. 116-125.

2. Shklyaev S., Khenner M., Alabuzhev A.A. Enhanced stability of a dewetting thin liquid film in a single-frequency vibration field. Physical Review E 77, 036320 (2008).

АНАЛИЗ ЗАДАЧ УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ МОДЕЛЕЙ ТЕПЛОВОЙ КОНВЕКЦИИ

Г.В. Алексеев, Д.А. Терешко

В работе рассматриваются задачи граничного управления для ряда математических моделей переноса тепла в вязкой жидкости в рамках стационарных и нестационарных приближений Обербека-Буссинеска. Указанные задачи формулируются как задачи условной минимизации функционалов качества, зависящих как от слабых решений исходной задачи, так и управлений. Роль последних играют неизвестные значения вектора скорости и потока тепла на определенных участках границы области течения. На основе методов работ [1, 2] выводится система оптимальности, описывающая необходимые условия минимума.

Разрабатывается алгоритм численного решения задачи граничного управления, основанный на методе Ньютона решения нелинейной системы оптимальности. Для дискретизации краевых задач используется метод конечных элементов. При проведении вычислительных экспериментов исследуется эффективность воздействия температурных и скоростных управлений на течения жидкости, а также влияние числа Рейнольдса, параметра регуляризации и других величин на точность решения экстремальной задачи.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (код проекта 10-01-00219-а) и грантов ДВО РАН (проекты 09-I-П29-01, 09-I-ОМН-03 и 09-II-СУ03-003).

Литература:

1. Алексеев Г.В., Терешко Д.А. Анализ и оптимизация в гидродинамике вязкой жидкости. Владивосток: Дальнаука, 2008. 365 с.

2 Алексеев Г.В., Терешко Д.А. Экстремальные задачи граничного управления для стационарной модели тепловой конвекции // Докл. АН. 2010. Т. 430. N2. С. 173–178.

ВОЛНОВАЯ СТРУКТУРА КОЛЬЦЕВЫХ ГАЗОЖИДКОСТНЫХ ПОТОКОВ

С.В. Алексеенко, Д.М. Маркович, А.В. Черданцев

При обдуве пленки жидкости высокоскоростным потоком газа сокращаются продольные размеры и амплитуда волн, возникающих на поверхности пленки. Одновременно возрастают частота следования и скорость волн [1]. Исследование волновой гидродинамики обдуваемых газом пленок жидкости требует полевого измерения локальной толщины пленки жидкости с высоким пространственным и временным разрешением. Такая измерительная система была создана на основе высокоскоростной модификации метода лазерно-индуцированной флюоресценции [2]. Эксперименты показали, что при воздействии интенсивным потоком газа на поверхности пленки жидкости сосуществуют волны двух типов. Основной объем жидкости переносится долгоживущими первичными волнами, характеризующимися высокой скоростью и амплитудой. На задних склонах первичных волн возникают короткоживущие вторичные волны, которые могут двигаться как медленнее, так и быстрее породившей их первичной волны. Разрушение быстрых вторичных волн приводит к уносу жидкости в ядро газового потока.

Работа выполнена при поддержке проекта РФФИ 10-08-01145-а и гранта Президента РФ МК-115.2011.8.

Литература:

1. Asali, J.C. and Hanratty, T.J. Ripples generated on a liquid film at high gas velocities. Int. J. Mult. Flow, 1993, V. 19, p. 229-243.

2. Alekseenko S.V., Antipin V.A., Cherdantsev A.V., Kharlamov S.M., Markovich D.M. Two-wave structure of liquid film and waves interrelation in annular gas-liquid flow with and without entrainment. Phys. Fluids, 2009, V. 21, p. 061701-061704.

ОДНОНАПРАВЛЕННЫЕ ДВУХСЛОЙНЫЕ ТЕЧЕНИЯ ЖИДКОСТЕЙ И СМЕСЕЙ В ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБЛАСТЯХ

В.К. Андреев

Исследуется инвариантное решение вида

$$u_j = v_j = 0, \quad w_j = W_j(r,t), \quad p_j = -\rho_j f_j(t) z + P_j(t),$$

$$\theta_j = Az + T_j(r,t), \quad j = 1,2,$$

уравнений вязкой теплопроводной жидкости. Оно интерпретируется следующим образом. Предположим, что в цилиндрической трубе $0 \leqslant r < b$, $|z| < \infty$ на границе раздела $r = a < b$ между двумя жидкостями поверхностное натяжение линейно зависит от температуры. Термокапиллярный эффект и градиенты давления приводят жидкости в движение. При этом жидкость вблизи стенки может считаться смазкой. Функции $W_j(r,t)$, $T_j(r,t)$ являются решением сопряженной начально-краевой задачи для параболических уравнений.

Получены следующие результаты:

1) найдено стационарное решение при разных граничных условиях, в частности, и при заданном движении стенки трубы;

2) доказано, что решение выходит на стационарный режим, если градиент давления в одной из жидкостей имеет конечный предел при $t \to \infty$;

3) решена обратная задача: по заданному расходу в одной из жидкостей определены поля скоростей и температур в слоях.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского фонда фундаментальных исследований № 11-01-00283.

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНОГО ЭВОЛЮЦИОННОГО УРАВНЕНИЯ ДЛЯ ПЛЕНКИ ЖИДКОСТИ, СТЕКАЮЩЕЙ ПО ВЕРТИКАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ

Д.Г. Архипов, Д.И. Качулин, О.Ю. Цвелодуб

В статье [1] выведена новая дивергентная система уравнений для моделирования нелинейных волн на свободной поверхности пленки жидкости, стекающей по вертикальной плоскости. В [2] показано, что данная система может быть приведена к одному уравнению для специальной функции, аналогичной гидродинамической функции тока. Из него в случае малых чисел Рейнольдса следует уравнение Непомнящего, а в предположении автомодельного профиля продольной скорости – модель Шкадова . В настоящей работе на базе линейного анализа проведено сравнение этого нового уравнения с рядом традиционных моделей.

Рассчитаны кривые нейтральной устойчивости, дисперсионные характеристики линейных волн и профили возмущений продольной и поперечной скоростей. На основе сравнительного анализа полученных решений с соответствующими решениями уравнения Орра-Зоммерфельда, модели Шкадова и уравнения Непомнящего установлены области применимости исследуемых математических моделей в рамках линейного подхода. Показано, что новая система хорошо описывает динамику линейных возмущений и картину возмущенного течения.

Литература:

1. Алексеенко С.В., Архипов Д.Г., Цвелодуб О.Ю. Дивергентная система уравнений для пленки жидкости, стекающей по вертикальной плоскости. // Доклады РАН. 2011. Т.436. №1. С. 42–46.

2. Архипов Д.Г., Качулин Д.И., Цвелодуб О.Ю. Исследование дивергентной системы уравнений для возмущений пленки жидкости, стекающей по вертикальной плоскости. // Тез. докл. Всеросс. Конф. "НЕЛИНЕЙНЫЕ ВОЛНЫ:ТЕОРИЯ И НОВЫЕ ПРИЛОЖЕНИЯ". 2-4 марта 2011 г. Новосибирск, с. 11–12.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ УЕДИНЕННЫХ И УДАРНЫХ ВОЛН В ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТИ С РАЗЛИЧНЫМИ ПРЕГРАДАМИ

К.Е. Афанасьев, Т.С. Рейн

В последнее время наблюдается интенсивное развитие теории обрушающихся волн. Однако, несмотря на многочисленные работы до сих пор все строгие исследования сделаны в рамках приближения идеальной жидкости [1,2]. Наиболее корректные попытки учета влияния вязкости на нелинейную эволюцию формы свободной поверхности вязкой жидкости выполнены в рамках теории пограничного слоя. Проблема исследования волнового движения в вязкой жидкости актуальна в связи с многочисленными академическими, техническими и технологическими приложениями. Однако, процесс обрушения волн, особенно ныряющих обрушающихся волн, изучен достаточно поверхностно. Детально не известны механизмы формирования и опрокидывания гребня волны, образования пелены брызг, захвата смеси воздуха, приводящие к появлению неустойчивостей и турбулентности в течениях, а также образованию вихрей.

В данной работе представлены результаты численного моделирования движения и обрушения уединенных и ударных волн в вязкой несжимаемой жидкости (2D постановка). В качестве численного метода используется бессеточный метод конечных элементов. Приведено сравнения форм свободной поверхности с результатами, полученными при использовании модели идеальной жидкости.

Литература:

1. Шокин Ю.И. и др. Об использовании методов численного моделирования для решения прикладных задач проблемы цунами // Тр. Междунар. конф.- Павлодар: ТОО НПФ "ЭКО", - 2006. - С. 36–51.

2. Афанасьев К.Е., Стуколов С.В. Численное моделирование взаимодействий уединенных волн с препятствиями // Вычислительные технологии. - 1999. - Т. 4. - №6. - С. 3–16.

ЛОКАЛЬНАЯ РАЗРЕШИМОСТЬ КРАЕВОЙ ЗАДАЧИ ДЛЯ УРАВНЕНИЙ ОДНОМЕРНОГО ДВИЖЕНИЯ ДВУХФАЗНОЙ СМЕСИ

И.Г. Ахмерова

Рассматривается одномерное нестационарное движение теплопроводной двухфазной смеси (газ - твердые частицы). Уравнения сохранения массы, импульса и энергии имеют вид [1]:

$$(\rho_1^0 s)_t + (\rho_1^0 s v_1)_x = 0, \quad (\rho_2^0 (1-s))_t + (\rho_2^0 (1-s) v_2)_x = 0,$$

$$\rho_1^0 s (v_{1t} + v_1 v_{1x}) = -(s p_1)_x + (\mu_1(s) v_{1x})_x + F + \rho_1^0 s g,$$

$$\rho_2^0 (1-s)(v_{2t} + v_2 v_{2x}) = -((1-s) p_2)_x + (\mu_2(s) v_{2x})_x + F + \rho_2^0 s g,$$

$$F = B(s)(v_2 - v_1) + p_2 \frac{\partial s}{\partial x}, \quad p_1 - p_2 = p_c(s, \theta), \quad p_2 = R \rho_2^0 \theta,$$

$$c_1 \rho_1^0 s (\theta_t + v_1 \theta_x) + c_2 \rho_2^0 (1-s)(\theta_t + v_2 \theta_x) = (\chi(s) \theta_x)_x.$$

Здесь ρ_i^0, v_i – соответственно истинная плотность и скорость i - ой фазы ($i = 1$ – твердые частицы, $i = 2$ – газ), s – объемная концентрация твердых частиц, θ – абсолютная температура смеси, p_1 – эффективное давление твердых частиц, p_2 внутреннее давление газа, g – плотность массовых сил, $c_i = const > 0$ – теплоемкость при постоянном объеме, $R = const > 0$ – универсальная газовая постоянная; кроме того, $\mu_i(s)$ – вязкости фаз, $B(s)$ – коэффициент взаимодействия фаз, $\chi(s)$ – коэффициент теплопроводности смеси, $p_c(s, \theta)$ – разность давлений (заданные функции). Истинная плотность твердых частиц ρ_1^0 принимается постоянной. Искомыми являются величины s, θ, ρ_2^0, v_i, p_i, $i = 1, 2$.

Работа выполнена при финансовой поддержке аналитической ведомственной целевой программы "Развитие научного потенциала высшей школы (2009-2010 годы)" (код проекта № 2.2.2.4/4278), а также при поддержке федеральной целевой программы "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России" на 2009-2013 годы.

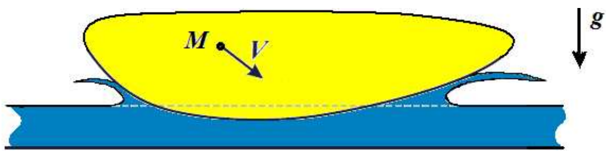
Литература:

1. Papin A.A., Akhmerova I.G. Solvability of the system of equations of one-dimensional motion of a heat-conducting two-phase mixture // Mathematical Notes. – 2010. – Vol. 87, № 2. – P. 230-243.

НАКЛОННОЕ ПАДЕНИЕ ТЕЛА НА ТОНКИЙ СЛОЙ ЖИДКОСТИ

Е.А. Батяев, Т.И. Хабахпашева

Рассмотрена плоская задача о наклонном входе свободного твердого тела, имеющего пологое дно, в тонкий слой идеальной несжимаемой жидкости. Предполагается, что начальная скорость тела достаточно велика поэтому движение тела сопровождается образованием струй на границе области контакта тела и жидкости. Моделирование этого процесса и определение гидродинамических нагрузок при ударе тела о жидкость непосредственно связано с задачами прочности в авиа- и кораблестроении, например при аварийной посадке самолета на воду, а также при проектировании быстроходных судов.



Задача решается совместно – течение жидкости обусловленное движением тела и само движение тела определяются одновременно. Существенную трудность при этом представляет определение размера области контакта и распределение гидродинамического давления по пятну контакта. Для решения гидродинамической части задачи используется метод сращиваемых асимптотических разложений, предложенный А.А. Коробкиным в задаче о соударении двух пологих твердых тел, одно из которых покрыто тонким слоем жидкости [1]. Движение тела под действием гидродинамических нагрузок описывается системой интегро-дифференциальных уравнений. Решение этой системы построено численно. Исследуются эффекты, обусловленные смещением центра масс и вращением тела.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (код проекта 10-08-00076).

Литература:

1. Korobkin A.A. *Impact of two bodies one of which is covered by a thin layer of liquid* J. Fluid Mech. 1995. V. 300, P. 43-58.

НЕУСТОЙЧИВОСТЬ ДВУХСЛОЙНОГО ТЕРМОКАПИЛЛЯРНОГО ТЕЧЕНИЯ В УСЛОВИЯХ НЕВЕСОМОСТИ

В.Б. Бекежанова

Изучается задача о стационарном течении двух вязких теплопроводных жидкостей, имеющих постоянные плотности, в плоском слое с продольным градиентом температуры и в отсутствие силы тяжести. Внешними границами системы являются твердые стенки, одна из которых неподвижна, а вторая может двигаться с постоянной скоростью w_{10}. Вдоль границы раздела $x = 0$ действуют касательные силы, причем поверхностное натяжение линейно зависит от температуры.

В данной системе течения в слоях возникают под действием перепада давлений, термокапиллярных сил и движения стенки. Возможна ситуация, когда за счет выбора скорости w_{10}, можно добиться нулевого объемного расхода во втором слое. Возникающее при этом однонаправленное течение, описывается решением типа Остроумова-Бириха [1, 2]

$$\mathbf{v}_j = (0, 0, w_j(x)), \quad \theta_j(x, z) = F_j^1(x)z + F_j^2(x), \quad p_j(x, z).$$

В рамках линейной теории исследована устойчивость данного режима течения. Кризис, вызванный гидродинамической модой связан с образованием неподвижных вихрей на границе встречных потоков. Уменьшение скорости движения стенки приводит к стабилизации режима. В случае тепловой моды неустойчивость порождается развитием монотонных (стоячих) тепловых волн или колебательных (бегущих) гидротепловых. При этом наиболее опасной является монотонная мода.

Работа выполнена при финансовой поддержке интеграционного гранта СО РАН N 116.

Литература:

1. Остроумов Г.А. Свободная конвекция в условиях внутренней задачи. М.: Государственное издательство технико-теоретической литературы. 1952. 256 с.

2. Бирих Р.В. Об термокапиллярной конвекции в горизонтальном слое жидкости // ПМТФ. 1966. № 3. С. 69-72.

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНЦЕНТРАЦИОННОЙ КОНВЕКЦИИ В ОБЛАСТЯХ С МЕЖФАЗНОЙ ГРАНИЦЕЙ: ОСОБЕННОСТИ ПОСТАНОВКИ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ

Р.В. Бирих

Концентрационная конвекция в связи с большим диффузионным временем обладает рядом существенных отличий от тепловой конвекции. Как показывают эксперименты [1-3], одновременное существование концентрационной гравитационной и капиллярной конвекции обычно приводит к возникновению колебательного режима. Возникновение его мы связываем с разрушением конвекцией Марангони поля концентрации ПАВ, созданного гравитационной конвекцией. В экспериментах период колебаний существенно зависит от числа Грасгофа и составляет несколько единиц вязкого времени. Другая особенность концентрационной конвекции при наличии межфазных границ связана с тем, что выход молекул ПАВ на границу имеет механизм, отличный от формирования возмущения температуры поверхности. На свободной границе жидкости образуется поверхностная фаза, в которой концентрация ПАВ определяется конкуренцией адсорбционного и десорбционного процессов. Как показывают эксперименты, концентрационная конвекция Марангони начинается, при достижении на поверхности некоторого конечного градиента концентрации ПАВ. Это заставляет при моделировании поверхностной фазы приписывать ей "бингамовские" свойства - элементы поверхностной фазы приходят в движение при превышении касательными напряжениями некоторого предельного значения.

Работа выполнена при финансовой поддержке проектов РФФИ № 08-01-00503 и РФФИ № 09-01-00484, Интеграционного проекта СО, УрО и ДВО РАН № 116 и гранта МОН (номер госконтракта – 14.740.11.0355).

Литература:

1. Зуев А.Л., Костарев К.Г. // УФН. 2008. Т. 178. № 10. С. 1065-1085.

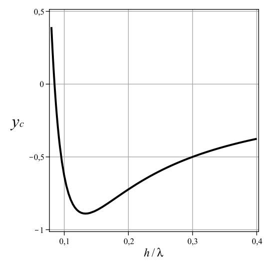
2. Бушуева К.А., Денисова М.О., Зуев А.Л., Костарев К.Г.// Коллоидный журнал. 2008. Т. 70. № 4. С. 457–463.

3. Денисова М.О., Костарев К.Г. // Конвективные течения. Вып. 4. Пермь: ПГПУ, 2009. С. 85–106.

ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ПОЛНОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ И УСТОЙЧИВОСТЬ УСТАНОВИВШИХСЯ ВОЛН НА ПОВЕРХНОСТИ ЖИДКОСТИ КОНЕЧНОЙ ГЛУБИНЫ

Т.А. Боднарь

Закон сохранения полной механической энергий одной волны на поверхности жидкости конечной глубины h записывается в виде $c^2(\lambda)f_1(\lambda) + y_c(\lambda)f_2(\lambda) = const$, где $\lambda, c(\lambda)$ – длина и скорость волны, $f_1(\lambda), f_2(\lambda)$ – известные из [1] функции, $y_c(\lambda)$ – координата центра масс волны. Зависимость $y_c(h/\lambda)$ при $h = 10$м приведена на рисунке.



Из закона изменения кинетической энергии волны,представленного в виде математической теоремы в [2], следует,что кинетическая энергия равна нулю на границах области $(0, \lambda_{max})$ и достигает максимума при $\lambda_0 \in (0, \lambda_{max})$. В точках $\lambda = 0, \lambda = \lambda_{max}$ полная механическая энергия волны равна потенциальной энергии. Если $\lambda = \infty$, тогда $y_c(\infty) = \infty$ и нарушается закон сохранения механической энергии волны. Рассмотрим волну как физический маятник с точкой подвеса в начале координат, расположенном на невозмущенной поверхности жидкости. Волна устойчива, если $y_c(\lambda) < 0$ и неустойчива при $y_c(\lambda) > 0$. Неустойчивые волны опрокидываются или другим способом меняют профиль и перестают быть периодическими.Любая гравитационная волна с $\lambda = \infty$ нарушает законы сохранения массы и (или) полной механической энергии.

Литература:

1. Боднарь Т.А. Об установившихся периодических волнах на поверхности жидкости конечной глубины//ПМТФ (в печати).

2. Боднарь Т.А. Об установившихся волнах на поверхности жидкости конечной глубины //3-я Всероссийская конференция с участием зарубежных ученых "Задачи со свободными границами: теория, эксперимент и приложения": Тез. докл., Бийск, 28 июня - 3 июля 2008 г.Новосибирск: Ин-т гидродинамики СО РАН, 2008. С. 25-26.

ЧИСЛЕННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРЕХМЕРНЫХ СТАЦИОНАРНО БЕГУЩИХ ВОЗМУЩЕНИЙ НА СВОБОДНОЙ ГРАНИЦЕ СЛОЯ ЖИДКОСТИ

А.А. Бочаров, Г.А. Хабахпашев, О.Ю. Цвелодуб

В данной работе считается, что стационарные составляющие течения несжимаемой жидкости равны нулю; характерный горизонтальный размер возмущения существенно больше, а его амплитуда значительно меньше равновесной глубины слоя h; капиллярные эффекты не велики (число Бонда $\mathrm{Bo} = \rho g h^2/\sigma > 1$, где ρ – плотность жидкости, g – ускорение свободного падения, а σ – поверхностное натяжение); неподвижное твердое дно горизонтально; наконец, можно пренебречь диссипацией. Последние два предположения необходимы для того, чтобы существовали установившиеся решения. В рамках этих допущений в статье [1] для возмущения свободной поверхности слоя жидкости η выведено следующее пространственное модифицированное уравнение Буссинеска:

$$\frac{\partial^2\eta}{\partial t^2} - gh\boldsymbol{\nabla}^2\eta - \frac{3}{2}\,g\boldsymbol{\nabla}^2(\eta^2) - h^2\left(\frac{1}{3} - \frac{1}{\mathrm{Bo}}\right)\boldsymbol{\nabla}^2\frac{\partial^2\eta}{\partial t^2} = 0. \qquad (1)$$

Здесь t – время, а $\boldsymbol{\nabla} = (\partial/\partial x, \partial/\partial y)$ – двумерный оператор градиента.

Периодические решения уравнения (1) найдены численно подобно тому, как это было сделано в статье [2] для "дифференциальной" модели волн на поверхности водоемов произвольной глубины. Построено несколько наиболее характерных и интересных стационарно бегущих пространственных решений уравнения (1), а также продемонстрировано влияние основных параметров задачи (величины и направления волнового вектора, поверхностного натяжения) на формы возмущений.

Литература:

1. Kim K.Y., Reid R.O., Whitaker R.E. On an open radiational boundary condition for weakly dispersive tsunami waves // J. Comput. Phys. 1988. Vol. 76. No 2. PP. 327–348.

2. Бочаров А.А., Хабахпашев Г.А., Цвелодуб О.Ю. Численное решение уравнений для пространственных нелинейных стационарно бегущих волн на свободных поверхностях однородных и двухслойных водоемов // Известия РАН, Физика атмосф. и океана. 2008. Т. 44. N4. С. 543–552.

ДИНАМИКА ФОРМИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНОЙ ФАЗЫ В БИНАРНЫХ РАСТВОРАХ ПАВ

Д.А. Брацун, А.И. Луцик, А.И. Мизев

Исследуются поверхностные свойства и динамика формирования поверхностной фазы в индивидуальных и бинарных водных растворах поверхностно-активных веществ (ПАВ) методом пластинки Вильгельми с барьерной системой Ленгмюра-Блоджет. Данный метод позволяет изучать поверхностные свойства растворов в широком диапазоне времен жизни границы и отличается большой чувствительностью на малых концентрациях. В качестве ПАВ были использованы соли жирных органических кислот - лаурат калия и каприлат калия - члены одного гомологического ряда, отличающиеся по свойствам. Барьеры, расположенные на поверхности лотка, заполненного исследуемым раствором, сначала сближались, а затем, двигались в противоположном направлении с некоторой фиксированной скоростью. Погруженная в раствор пластинка весов Вильгельми регистрирует величину поверхностного давления. Исследованы свойства как индивидуальных, так и бинарных растворов в зависимости как от суммарной концентрации всех ПАВ, так и от относительной доли каждого ПАВ в растворе. Построена зависимость максимального значения поверхностного давления от концентрации при различных скоростях движения барьеров. Для однокомпонентных и для бинарного растворов обнаружен немонотонный характер данной зависимости. При некоторой (разной для исследуемых ПАВ) концентрации наблюдается максимум зависимости. Обнаружено, что при относительно небольших (меньше ККМ для каждого из компонент) концентрациях поверхностная фаза формируется быстрее в случае смеси ПАВ, чем для каждого из сурфактантов в отдельности.

Для интерпретации полученных результатов предложена модель, рассматривающая уравнение диффузии в объеме раствора в двумерном случае, для динамических процессов, имеющих место при формировании поверхностной фазы раствора сурфактанта.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 10-01-96009), программы ДЭММПУ РАН 09-Т-1-1005 и ФЦП (ГК № 14.740.11.0352).

УСТОЙЧИВОСТЬ КАТЯЩИХСЯ ВОЛН В ПЛЕНОЧНЫХ ТЕЧЕНИЯХ НА НАКЛОННОЙ ПЛОСКОСТИ

А. Будлаль, В.Ю. Ляпидевский

В сообщении исследуется устойчивость периодических бегущих волн конечной амплитуды в течениях с умеренными числами Рейнольдса на наклонной плоскости. В приближении длинных волн течение описывается неоднородной гиперболической системой уравнений. Критерий устойчивости формулируется в терминах гиперболичности уравнений модуляций для волновых пакетов (катящихся волн). Показано, что в частном случае течения по вертикальной стенке периодические волны малой амплитуды неустойчивы, но катящиеся волны становятся устойчивыми при достижении некоторой критической амплитуды.

Фактически для анализа пленочных течений над склоном используется первое приближение теории мелкой воды, представленное нелинейной гиперболической системой уравнений, в которой вязкие эффекты учтены рассмотрением соответствующего автомодельного профиля скорости течения в слое жидкости. В данной модели капиллярные эффекты игнорируются для того, чтобы оценить взаимное влияние нелинейности и вязкости на волновую структуру течения. Показано, что также как и для течений в открытых каналах с высокими числами Рейнольдса неустойчивость стационарного течения приводит к генерации квазипериодических длинных волн конечной амплитуды. Вопрос об устойчивости периодических волн конечной амплитуды решается на основе анализа уравнений модуляций волновых пакетов аналогично случаю течений мелкой воды в открытых каналах и трубопроводах [1]. Более того, для рассматриваемого класса течений вязкой жидкости аналогично течениям мелкой воды получены асимптотические формулы, дающие на плоскости определяющих параметров явное представление границ нелинейной устойчивости нелинейных волновых пакетов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 10-01-00338) и Программ РАН 4.7 и 21.10.

References:

1. A. Boudlal, V.Yu. Liapidevskii Roll waves in an inclined channel, Europ. Journ. Appl. Math. (2004), V. 15, pp. 1-15.

ЭВОЛЮЦИЯ СЛОЯ ФЕРРОЖИДКОСТИ НА ЖИДКОЙ ПОДЛОЖКЕ И ЕГО УСТОЙЧИВЫХ РАЗРЫВОВ ПОД ДЕЙСТВИЕМ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

К.А. Бушуева, К.Г. Костарев

В докладе представлены результаты экспериментального исследования влияния магнитного поля на горизонтальный слой феррожидкости, расположенный на жидкой подложке. Обнаружено, что включение магнитного поля, нормального к поверхности слоя, приводит к его неустойчивости. Так, в случае воздействия однородного поля слой феррожидкости распадается на отдельные капли, образующие упорядоченную структуру. Форма капель и характерный пространственный период структур зависят от начальной толщины слоя и напряженности приложенного поля. В случае вертикального неоднородного осесимметричного поля слой деформируется до образования разрыва в форме правильного круга. При этом созданный разрыв может остаться после снятия магнитного поля, если толщина изначально сплошного слоя не превышает некоторого критического значения. В свою очередь, существующий устойчивый разрыв слоя может быть деформирован вплоть до закрытия с помощью однородного магнитного поля, продольного поверхности слоя [1].

Работа выполнена при поддержке Научно-образовательного центра "Неравновесные переходы в сплошных средах" (грант № 10-17н-02и), проекта РФФИ-Урал № 10-02-96022 и Программы ОЭММПУ РАН № 09-Т-1-1005.

Литература:

1. Bushueva C.A., Kostarev K.G., Lebedev A.V. Dynamics of a ferrofluid layer with a stable rupture of the surface under the action of external magnetic field // Proceedings of the XXXVIII Summer School - Conference "Advanced Problems in Mechanics (APM) 2010", St. Petersburg (Repino), Russia, July 1-5, 2010, pp. 105-112.

УСТОЙЧИВОСТЬ УПРУГОЙ ПЛАСТИНЫ В СДВИГОВОМ СЛОЕ ГАЗА

В.В. Веденеев

Асимптотическое исследование устойчивости упругой пластины в однородном сверхзвуковом потоке газа [1] привело к обнаружение нового типа неустойчивости, названного одномодовым флаттером. В дальнейшем была проведена серия аналитических, численных и экспериментальных исследований, подтвердивших возникновение этого типа флаттера [2].

В настоящей работе исследуется влияние на устойчивость пластины пограничного слоя в газе (толщиной δ) при $\mathrm{Re} \to \infty$. Решая уравнение Рэлея для сжимаемого газа (в предположении, что длина волны $\lambda \gg \delta$), выражая давление через прогиб пластины и подставляя его в уравнение движения пластины, получаем дисперсионное уравнение:

$$\mathcal{D}(k,\omega) = (Dk^4 + M_w^2 k^2 - \omega^2) - \\ - \mu \left(\left(\frac{(M_\infty k - \omega)^2}{\sqrt{k^2 - (M_\infty k - \omega)^2}} \right)^{-1} + \left(\int_0^\delta \frac{T_0(\eta) d\eta}{(u_0(\eta) - c)^2} - \delta \right) \right)^{-1} = 0$$

Первое слагаемое выражает динамику пластины, второе — динамику потока газа. Погранслой характеризуется профилями скорости $u_0(\eta)$ и температуры $T_0(\eta)$. Исследовано влияние этих профилей и толщины слоя на границу устойчивости пластины бесконечной длины и пластины большой, но конечной длины.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 10-01-00256 и гранта НШ-4810.2010.1.

Литература:

1. В.В. Веденеев. Флаттер пластины, имеющей форму широкой полосы, в сверхзвуковом потоке газа// Изв. РАН. МЖГ. 2005. № 5. С. 155-169.

2. В.В. Веденеев, С.В. Гувернюк, А. Ф. Зубков, М. Е. Колотников. Экспериментальное исследование одномодового панельного флаттера в сверхзвуковом потоке газа// Изв. РАН. МЖГ. 2010. № 2. С. 161-175.

КОНВЕКЦИЯ МАРАНГОНИ ОТ ЛОКАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОВОГО ИСТОЧНИКА

И.И. Вертгейм, М.А. Кумачков

Численно исследованы нелинейные режимы конвекции Марангони в плоском горизонтальном слое жидкости со свободной верхней границей при совместном действии однородного подогрева и локализованного неоднородного теплового потока на нижней границе. Для слабой неоднородности теплопотока и малого отклонения числа Марангони от критического значения, соответствующего однородному подогреваемому снизу слою с теплоизолированной нижней границей, возможна упрощенная постановка задачи на основе системы двумерных уравнений длинноволнового приближения [1]. В общем случае применялась полная трехмерная постановка задачи в рамках вычислительной системы ANSYS-Fluent. Рассмотрены плоская и осесимметричная формы неоднородности теплового потока. В длинноволновом приближении изучены основные стационарные состояния, их зависимость от параметров, устойчивость к малым двумерным возмущениям различной пространственной симметрии и нелинейное развитие возмущений. Результаты использованы в качестве тестовых для трехмерной задачи, определения условий примененимости длинноволнового приближения и сопоставления с данными лабораторных экспериментов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы фундаментальных исследований Президиума РАН (проект 09-Р-1-1002).

Литература:

1. Karlov S.P., Kazenin D.A., Myznikova B.I., Wertgeim I.I. Experimental and numerical study of the Marangoni convection due to localized laser heating // J. Nonequilibrium Thermodynamics. - 2005. - V. 30. - N. 3. - P. 283-304.

МЕТОД РАСЧЕТА ЗАДАЧ КОНВЕКЦИИ НА ОСНОВЕ РАСЩЕПЛЕНИЯ ПО ФИЗИЧЕСКИМ ПРОЦЕССАМ

А.Ф. Воеводин, О.Н. Гончарова

Уравнения Обербека - Буссинеска применяются для изучения тепловой гравитационной конвекции в замкнутых областях с твердой непроницаемой границей. Для численного исследования течений в трехмерных областях и двумерных областях с криволинейными границами предлагается метод, в котором реализована схема расщепления по физическим процессам (Воеводин, Протопопова, 1999 - 2005; Воеводин, Гончарова, 2001 - 2009). Численный алгоритм дает возможность точно выполнять условия прилипания на твердых стенках и гарантировать соленоидальность поля скоростей и его энергетическую нейтральность.

Конвективный и диффузионный переносы естественным образом выделяются в уравнениях движения и в уравнении переноса тепла. Выделение этапа конвекции позволяет исключить расчет градиента давления и обеспечить корректность расщепления для выполнения граничных условий. На этапе диффузии введены переменные "вихрь - функция тока" для двумерных задач и "ротор скорости - векторный потенциал скорости" для трехмерных задач. Для реализации этапа диффузии разработаны особые варианты метода прогонки с параметрами (Воеводин, Шугрин, 1981), представлены неявные конечно-разностные схемы второго порядка. Установлена принципиальность очередности расчетов по направлениям для трехмерных задач, решена проблема постановки граничных условий для вспомогательных функций на внутренних этапах конечно-разностной схемы.

Работа выполнена в рамках совместного Интеграционного проекта СО РАН, УрО РАН и ДВО РАН № 116.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛЕДОТЕРМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ПРЕСНЫХ И СОЛЕНЫХ ВОДОЕМОВ

А.Ф. Воеводин, Т.Б. Гранкина

Рассматривается одномерная трехслойная модель описывающая рост ледового покрова водоемов различной минерализации с учетом зависимости температуры замерзания от солености и влияние снежного покрова.

$$H > z > s(t): \quad \rho_w c_p \Big(\frac{\partial \omega T_w}{\partial t} + \frac{\partial w \omega T_w}{\partial z} \Big) = \frac{\partial}{\partial z} \omega k_w \frac{\partial T_w}{\partial z};$$

$$\frac{\partial \omega C}{\partial t} + \frac{\partial w \omega C}{\partial z} = d \frac{\partial}{\partial z} \omega \frac{\partial C}{\partial z}; \quad w = \frac{ds}{dt};$$

$$s(t) > z > 0: \quad \frac{\partial T_{ic}}{\partial t} = a^2 \frac{\partial^2 T_{ic}}{\partial z^2};$$

$$0 > z > -l_{sn}: \quad \rho_{sn} c_p \frac{\partial T_{sn}}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} k_{sn} \frac{\partial T_{sn}}{\partial z};$$

$$k_w \frac{\partial T_w}{\partial z}\bigg|_{z=s(t)} - k_{ic} \frac{\partial T_{ic}}{\partial z}\bigg|_{z=s(t)} = \lambda \rho_w \frac{ds}{dt}, \quad T_w\big|_{z=s(t)} = T_{ic}\big|_{z=s(t)} = T_f;$$

$$C_f \frac{ds}{dt} = -d \frac{\partial C}{\partial z}\bigg|_{z=s(t)}, \quad T_f = T^* - \gamma C_f;$$

$$k_{ic} \frac{\partial T_{ic}}{\partial z}\bigg|_{z=o} = -k_{sn} \frac{\partial T_{sn}}{\partial z}\bigg|_{z=0}, \quad T_{ic}\big|_{z=0} = T_{sn}\big|_{z=0};$$

$T_{w,ic,sn}(t,z)$ - температура в соответствующем слое, $C(t,z)$ - соленость, $T_f(t)$, $C_f(t)$ - температура замерзания и значение примеси на границе фазового перехода, l - толщина соответствующего слоя, w - вертикальная скорость, $\omega(z)$ - площадь сечения водоема, $s(t)$ - подвижная граница фазового перехода, γ - равновесный коэффициент, соответствующий солености водоема, k - коэффициент теплопроводности.

Литература:

1. А.Ф. Воеводин, Т.Б. Гранкина. Численное моделирование роста ледяного покрова в водоеме// Сибирский журнал индустриальной математики.- 2006.- т.9, №1 (25).- С. 47-54 .

О МЕТОДЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ КРУПНЫХ ВИХРЕЙ ДЛЯ КОГЕРЕНТНЫХ СТРУКТУР НАД РАСТИТЕЛЬНЫМ ПОЛОГОМ

К.А. Гаврилов

Метод моделироваия крупных вихрей (МКВ) применяется для изучения динамики атмосферного турбулетного течения внутри и над лесным пологом [1]. Расчетная область представляет собой прямоугольный параллелепипед с периодическими граничными условиями на вертикальных границах, в нижней части области находится лесной массив, который предполагается однородным в горизонтальных и вертикальном направлениях. Сила аэродинамического сопротивления (дополнительное слагаемое в уравнении движения) возникает из-за трения воздуха об элементы растительности и приводит к замедлению течения в слое растительности.

Во-первых, поскольку вертикальный профиль средней скорости течения содержит точку перегиба, возникает неустойчивость Кельвина-Гельмгольца. Скорость роста и длина волны этой неустойчивости сдвигового течения пропорциональны длине смешения Прандтля.

Вторым этапом является формирование поперечных вихрей из волн Кельвина-Гельмгольца, области между ними характеризуются большой величиной напряжения сдвига. Такие вихри переносятся течением на уровне высоты лесного полога.

В-третьих, благодаря вторичной неустойчивости поперечные валы трансформируется из двумерных в трехмерные структуры.

Литература:

1. K. Gavrilov, G. Accary, D. Morvan, D. Lyubimov, S. Meradji, O. Bessonov. Numerical simulation of coherent structures over plant canopy // Flow Turbulence and Combustion. 2011. Vol. 86. PP. 89–111.

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ И ВНУТРЕННИХ ВОЛН БОЛЬШОЙ АМПЛИТУДЫ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ: ТЕОРИЯ И ЭКСПЕРИМЕНТ

Н.В. Гаврилов, В.Ю. Ляпидевский

В работе проведено теоретическое и экспериментальное исследование механизмов разрушения длинных поверхностных и внутренних волн конечной амплитуды. В рамках трехслойной схемы течения построены математические модели распространения нелинейных волн в двухслойной жидкости с учетом развития неустойчивости и перемешивания на границе однородных слоев, являющиеся обобщением известных моделей второго приближения теории мелкой воды (уравнений Грина-Нагди, Чои- Камасса и т.д.), разработаны алгоритмы численного расчета нестационарных течений, построены аналитически точные решения, описывающие уединенные волны большой амплитуды, и проведены сравнения полученных решений с результатами лабораторных экспериментов по генерации, взаимодействию и затуханию волн предельной амплитуды.

Характерной особенностью внутренних волн большой амплитуды как придонных, так и приповерхностных, является их способность переносить частицы жидкости и примесей на большие расстояния вдоль высокоградиентных прослоек в стратифицированной жидкости за счет начального горизонтального импульса. В работе на основе математической модели двухслойной мелкой воды, учитывающей влияние нелинейности и дисперсии, построены аналитические и численные решения задачи о распространении внутренних волн в интрузионных и гравитационных течениях [1-2], найдены точные решения в виде уединенных волн для конечной, но малой начальной толщины прослойки, и обоснован предельный переход в случае бесконечно тонкой прослойки между однородными слоями. Для определенных соотношений глубин однородных слоев жидкости построена уединенная волна с несимметричным профилем и экспериментально проверена возможность реализации несимметричных уединенных волн в реальных системах. Показано, что учет трения на границах раздела в математической модели позволяет адекватно описать изменение фазовых и амплитудных характеристик уединенных волн в процессе их распространения. Построенные аналитические и численные решения применены для описания эволюции приповерхностных и придонных внутренних волн большой амплитуды в шельфовой зоне моря [3].

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 09-01-00427) и Программ РАН 14.14 и 20.4.

Литература:

1. Н.В. Гаврилов, В.Ю. Ляпидевский Симметричные уединенные волны на границе раздела жидкостей // ДАН. 2009. Т. 429. №2. С. 187–190.

2. Н.В. Гаврилов, В.Ю. Ляпидевский Уединенные волны большой амплитуды в двухслойной жидкости // ПМТФ. 2010. Т. 51. №4. С. 26–38.

3. Gavrilov, N., Liapidevskii V. and Gavrilova K. Large amplitude internal solitary waves over a shelf// Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 2011. V. 11. P. 17–25.

СВОБОДНАЯ ЛАМИНАРНАЯ КОНВЕКЦИЯ В ВЕРТИКАЛЬНОМ ПОЛУКРУГЛОМ КАНАЛЕ

В.Г. Гасенко

Методами ТФКП и конформных отображений найдена серия точных решений уравнений $\Delta u = -a - b\theta$, $u_s = 0$, $\Delta\theta = 0$ для свободной конвекции в вертикальном полукруглом канале с изотермическими и адиабатическими стенками, где a и b выражаются через критерии Рейнольдса и Рэлея [1]. Задача для температуры решалась методом Келдыша-Седова, для скорости — сводилась к задаче Дирихле. Одно из решений

$$u = \frac{b(1-z\overline{z})}{2\pi i}\left[\left(1+\frac{1}{z}\right)\ln(1+z) - \left(1-\frac{1}{z}\right)\ln(1-z)\right] + \\ + \frac{a}{2\pi i}\left[\frac{(1-z)^2}{z} + \frac{(1-z^2)^2}{2z^2}\ln\frac{1-z}{1+z}\right] - \frac{ay^2}{2}$$

с изотермическими стенками при $a = 4$ и $b = 7$ показано на Рис.1.

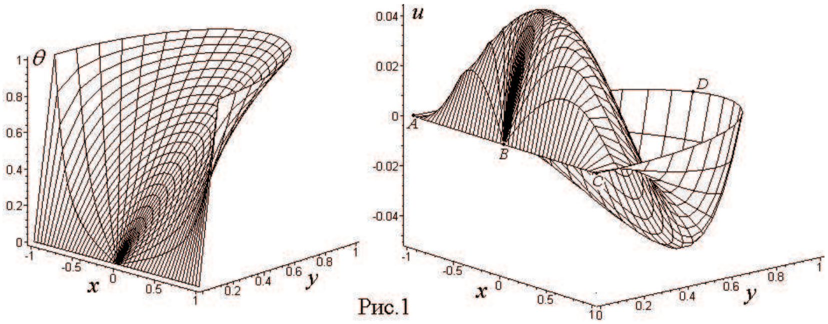


Рис.1

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Правительства России № 11.G34.31.0035 ведущему ученому Захарову В.Е.

Литература:

1. Baretta A. Analysis of flow reversal for laminar mixed convection in vertical rectangular duct with one or more isothermal walls// Int. J. Heat Mass Transfer. 2000. V. 44. P. 3481–3497.

СТРУЙНЫЕ МГД ТЕЧЕНИЯ СО СВОБОДНОЙ ГРАНИЦЕЙ

С.В. Головин

В работе исследуются точные решения, описывающие струйные течения в идеальной бесконечно электропроводной жидкости с вмороженным магнитным полем. Классы точных решений, выделяемые требованием постоянства полного давления, были получены в работах [1,2]. В частности, было отмечено, что в стационарных течениях с постоянным полным давлением свободная поверхность струи, сотканная из магнитных линий и линий тока течения, обязательно является поверхностью переноса. В работе дается полная классификация таких решений, анализируются свойства определяемых ими течений жидкости.

Приводятся новые примеры нестационарных струйных течений с постоянным полным давлением. Функциональный произвол в решениях позволяет существенно варьировать картину описываемых ими движений жидкости. Обсуждается возможность появления особенностей, связанных с пространственным строением множества магнитных силовых линий. Исследуются возможности обобщения подхода, применяемого в работе, на другие модели механики сплошных сред, содержащие вмороженные векторные поля.

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы Отделений РАН 2.14.1, Программы поддержки ведущих научных школ (НШ-4368.2010.1) и молодых докторов наук (МД-168.2011.1).

Литература:

1. Golovin S.V. Analytical description of stationary ideal MHD flows with constant total pressure // Phys. Lett. A. 2010. V. 374 P. 901–905.

2. Golovin S.V. Natural curvilinear coordinates for ideal MHD equations. Non-stationary flows with constant total pressure // Phys. Lett. A. 2011. V. 375. P. 283–290.

ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ВОЛНОВЫХ ЭФФЕКТОВ, СОПУТСТВУЮЩИХ ТЕПЛОВОМУ УДАРУ

В.Н. Демидов

Многие технологические процессы (плазменное нанесение покрытий, обработка поверхности лазерным или электронным лучом, сварка, наплавка и т. д.) связаны с интенсивным тепловым воздействием на обрабатываемый материал. В этих условиях происходит резкое изменение температуры поверхности материала - тепловой удар.

В данной работе задача о тепловом ударе рассматривается в обобщенной постановке с учетом связанности тепловых и механических процессов. В этом случае учитывается взаимное влияние эффектов обусловленных: 1) теплопроводностью, 2) динамическими (инерционными) членами, входящими в уравнения движения, 3) связанностью полей деформации и температуры, 4) тепловой инерцией (конечной скоростью распространения тепла) и 5) диссипативными процессами вследствие пластичности.

Математическая модель включает уравнения движения, неразрывности, теплопереноса, обобщенный (неклассический) закон Фурье и определяющие соотношения упругопластического деформирования, связывающие скорости изменения напряжений и деформаций. Наряду с полной постановкой рассматриваются упрощенные постановки задачи, позволяющие использовать при отладке вычислительного алгоритма известные в термоупругости и теории теплопроводности аналитические решения. Задача решается численно, с использованием конечно-разностной схемы Годунова С.К.

ВЛИЯНИЕ СВОЙСТВ ПАВ НА РАЗВИТИЕ КОНВЕКЦИИ МАРАНГОНИ НА СВОБОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

М.О. Денисова, К.Г. Костарев

Концентрационная конвекция Марангони возникает на свободной границе жидкости при появлении на ней градиента концентрации поверхностно-активного вещества (ПАВ). Структура течений и полей концентрации, а также их эволюция определяются физико-химическими свойствами ПАВ.

В докладе представлены результаты экспериментального изучения двух задач. Первая задача посвящена изучению конвекции Марангони на свободной поверхности воды при локальном внесении микрокапли водного раствора ПАВ. Во второй задаче исследовано развитие колебательных режимов концентрационной конвекции вблизи пузырька газа в горизонтальном канале с неоднородным раствором ПАВ.

Визуализация течений показала, что в обоих случаях возникавшее движение имело ярко выраженный пороговый характер. Использование в качестве ПАВ одноатомных спиртов позволило оценить влияние таких свойств, как поверхностная активность и растворимость ПАВ, на структуру течения и ее изменение со временем. По результатам опытов найдены пороговые значения перепада концентрации, а также определен порядок критических чисел Марангони ($Ma \sim 10^7$).

Исследования выполнены при поддержке проектов РФФИ № 09-01-00484, а также совместного проекта институтов СО, УрО и ДВО РАН № 116/09-С-1-1005.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ГРЯЗЕВОГО ВУЛКАНИЗМА

А.В. Доманский

В работе выполнено моделирование деятельности грязевых вулканов на основе уравнений нестационарной фильтрации газа и двухфазной фильтрации газа и водоглинистой брекчии в подводящем канале вулкана. При расчетах учитывалась зависимость вязкости и коэффициента сжимаемости газа от температуры и давления газа.

Сформулирована обратная задача определения глубины залегания корня грязевого вулкана и получено ее однозначное решение. Показано, что проницаемость подводящего канала определяет глубины залегания корня вулкана и источника газа, а отношение вязкостей газа и брекчии задает интервал времени между двумя последовательными извержениями вулкана. Дана модель образования грифонного поля и получены оценки мощности тела вулкана и скорости истечения газа из него.

Предложена модель, позволяющая объяснить наблюдаемое после землетрясений увеличение дебита и изменение химического состава свободных газов в грифонах грязевого вулкана. Сейсмическое воздействие моделируется плоской продольной монохроматической волной, при этом возникающее изменение давления влияет на процессы фильтрации и растворимость газов в подводящем канале вулкана.

Исследования выполнены при финансовой поддержке гранта ДВО РАН 09-III-А-08-439.

Литература:

1. Доманский А.В., Ершов В.В. Математическое моделирование геофлюидодинамических процессов, протекающих в грязевулканических структурах// Геология и геофизика. 2011. Т. 52. № 3. С. 470-481.

2. Доманский А.В., Ершов В.В. Моделирование сейсмического воздействия на динамику грязевулканических процессов// Вестник ДВО РАН. 2010. № 6. С. 94-100.

КОНВЕКЦИЯ СВЕРХТЕКУЧЕЙ ЖИДКОСТИ В ПЛОСКОМ СЛОЕ СО СВОБОДНОЙ ГРАНИЦЕЙ

В.В. Донская, М.Ю. Жуков

Целью работы является описание конвекции сверхтекучей жидкости в плоском слое со свободной границей. Взамен традиционного двухкомпонентного описания (см., например, [1]) жидкость характеризуется скоростью смеси в целом $\mathbf{v}$, единой плотностью ρ и некоторым потенциальным полем возбуждений $\mathbf{c}$ (см. [2]). Поле c рассматривается как новая неизвестная, дающая вклад в кинетическую энергию жидкости, для нее получены уравнения движения и определяющие соотношения на основе теории Онзагера. При конструировании определяющих соотношений для поля $\mathbf{c}$ выбрана такая их форма, которая обеспечивает инвариантность записи уравнений модели — поле скорости $\mathbf{v}$ и поле $\mathbf{c}$ полагаются 1-формами и уравнения движения получены в терминах производной Ли, несжимаемость жидкости не предполагается. На основе экспериментальных данных (см. [3]) при помощи интерполяции сконструировано уравнение состояния изотопа гелия — He^4 для температурного интервала от $0,5^\circ$K до $1,3^\circ$K, расположенного значительно ниже λ - перехода ($\approx 2,17^\circ$K). Устойчивость решений, соответствующих равновесий полученной системы, исследована методами линеаризованной теории гидродинамической устойчивости (см. [4]).

Литература:

1. Халатников И.М. Введение в теорию сверхтекучести. - М.:Наука, 1965.

2. Atkin R.J., Fox N. A multipolar approach to lequid helium II.- Acta Mechanica, 21 (1975), 221–239.

3. Boghosian C., Meyer H. Density, Coefficient of Thermal Expansion, and Entropy of Compression of Liquid He4 under Pressure Below 1.4°K. - Phys. Rev., 152 (1966), 200–206.

4. Гершуни Г. З., Жуховицкий Е. М. Конвективная устойчивость несжимаемой жидкости. - М.:Наука, 1972.

ПОТЕРЯ УСТОЙЧИВОСТИ ТЕРМОКАПИЛЛЯРНОГО ТЕЧЕНИЯ ПРИ БОЛЬШИХ ЧИСЛАХ ПРАНДТЛЯ

М.К. Ермаков

Целью работы явяется расширение анализа устойчивости термокапиллярных течений в жидких мостах при малых и умеренных числах Прандтля [1] в область высоких чисел Прандтля, которые соответствуют современным экспериментам с использованием силиконовых масел. Как показал бенчмарк конференции IMA-2, исследование устойчивости термокапиллярных течений даже при малых числах Прандтля представляет собой существенные сложности [2]. Для исследования устойчивости термокапиллярной конвекции в жидком мосте при высоких числах Прандтля используется тщательно тестированная техника анализа линейной устойчивости [3]. Для жидкого моста в форме прямого цилиндра с отношеним высоты к радиусу H/R=0.5 исследована зависимость критического числа Марангони и критической частоты в диапазоне чисел Прандтля от 4 до 200. Получено, что смена критического азимутального волнового числа от 2 к 1 происходит при числе Прандтля, равному 28. Аппроксимация нейтральной кривой для больших чисел Прандтля сравнивается с полученной в экспериментах. Причина потери устойчивости определяется по апостериорным энергетическим балансам. Определена нейтральная кривая термокапиллярного течения для космических экспериментов MEIS-2 (Япония, 2009) для силиконового масла вязкостью 5 сСт (число Прандтля 68) в диапазоне удлинений H/R=1.4. Линейный анализ устойчивости удовлетворительно соответствует экспериментальным данным для удлинений больших 1.7 и описывет смену типа критического возмущения, критической частоты и немонотонное поведение нейтральной кривой в районе удлинения 2.5. Для удлинений, меньших 1.7, имеется значительное расхождение экспериментальных и расчетных данных, причины которого обсуждаются и определяются пути их устранения.

Литература:

1. Wanschura, M., Shevtsova, V.M., Kuhlmann, H.C. et al. Phys. Fluids, 7 (1995) 912-925.

2. Shevtsova, V.M. J. Crystal Growth, 280 (2005) 632-651.

3. Ermakov, M.K., Ermakova, M.S. J. Crystal Growth, 266 (2004) 160-166.

ГЕНЕРАЦИЯ И ОБРУШЕНИЕ ВНУТРЕННИХ ВОЛН ПРИ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЯХ ТОРА

Е.В. Ерманюк, Я.-Б. Флор

Взаимодействие приливного движения в океане с топографией дна приводит к генерации внутренних волн. Обрушение внутренних волн и вызванное им перемешивание играют важную роль в динамике и крупномасштабной циркуляции глубинных слоев океана.

В настоящем докладе рассмотрена задача о генерации внутренних волн горизонтальными колебаниями тора. Наибольший интерес представляет изучение геометрической фокусировки внутренних волн, моделирующей аналогичное явление в океане при генерации волн криволинейными подводными хребтами. С помощью методики [1, 2] проведено количественное измерение пространственных распределений амплитуд внутренних волн на различных расстояниях от тора, идентифицированы области усиления и обрушения внутренних волн. При достаточно больших амплитудах колебаний тора в зоне фокусировки внутренних волн наблюдается опрокидывание, основным механизмом которого является гидростатическая неустойчивость. В то же время вблизи тора сохраняется устойчивая стратификация. Результаты экспериментальных наблюдений дают физическую иллюстрацию механизма локального перемешивания, теоретически описанного в [3].

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы фундаментальных исследований Президиума РАН, код проекта 20.10.

Литература:

1. Voisin B., Ermanyuk E.V., Flor J.-B. Internal wave generation by oscillation of a sphere, with application to internal tides// J. Fluid Mech. 2011. Vol. 666. PP. 308–357.

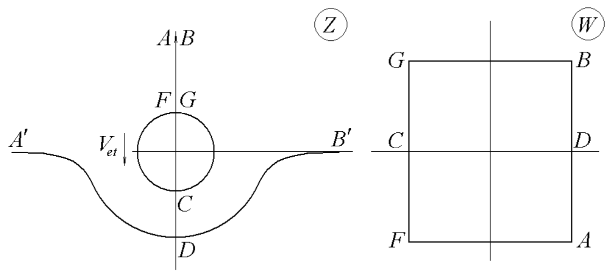
2. Ermanyuk E.V., Flor J.-B., Voisin B. Spatial structure of first and higher harmonic internal waves from a horizontally oscillating sphere// J. Fluid Mech. 2011. Vol. 671. PP. 364–383.

3. Buhler O., Muller S.J. Instability and focusing of internal tides in the deep ocean// J. Fluid Mech. 2007. Vol. 588. PP. 1–28.

ФОРМООБРАЗОВАНИЕ ГРАНИЦ ПРИ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ КРУГЛЫМ ЭЛЕКТРОД-ИНСТРУМЕНТОМ

В.П. Житников, Р.Р. Муксимова, А.Р. Салимьянов

Электрод-инструмент (ЭИ), представляющий собой круг с радиусом R, заглубляется в заготовку со скоростью V_{et}.



Задача решается методами, аналогичными применяемым в гидродинамике. На плоскости комплексного потенциала $W = \varphi + i\psi$ областью, соответствующей МЭП, является прямоугольник, на параметрической плоскости – горизонтальная полоса $\chi = \sigma + iv$.

Представим функцию, конформно отображающую полосу плоскости χ на область МЭП физической плоскости в виде суммы $z\,(\chi,\tau) = g\,(\tau)\, sh\pi\chi + z_c\,(\xi\,(\chi)\,,\tau) + z_a\,(\chi,\tau)$, где $z_a(\chi,\tau)$ – непрерывная на границе функция, определяющая отличие формы обрабатываемой поверхности от прямолинейной (при $\chi{=}\sigma{+}i\ Imz_a(\chi,\tau) = 0$); $z_c(\xi,\tau)$ – непрерывная на границе функция, предназначенная для описания формы ЭИ (при $\xi{=}v{+}i0\ Imz_c(\xi,\tau) = 0$).

Для восстановления функций $z_a\,(\chi,\tau)$ и $z_c\,(\xi,\tau)$ используем формулы Шварца и Келдыша-Седова. На каждом временном шаге τ_j находим $z(\chi,\tau_j)$ и частную производную $\partial z/\partial\tau\,(\chi,\tau_j)$ как аналитическую функцию комплексного параметра χ, удовлетворяющую краевому условию $Im\left[\frac{\partial z}{\partial\tau}\overline{\frac{\partial z}{\partial\sigma}}\right] + \frac{\partial\psi}{\partial\sigma} = 0$. После решения системы уравнений и определения частных производных $\partial z/\partial\tau = q_m$ производится шаг по времени.

Приводятся результаты решения в виде зависимостей геометрических параметров обрабатываемой поверхности от времени.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАНОРАЗМЕРНЫХ ЧАСТИЦ SiO_2 ВО ФРЕОНЕ-21 НА СКОРОСТЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ САМОПОДДЕРЖИВАЮЩЕГОСЯ ФРОНТА ИСПАРЕНИЯ

В.Е. Жуков, А.Н. Павленко, М.И. Моисеев

Приводятся результаты экспериментального исследования скорости распространения самоподдерживающегося фронта испарения в условиях свободной конвекции при ступенчатом тепловыделении на горизонтально ориентированной цилиндрической поверхности теплоотдачи. Динамика распространения фронта регистрировалась цифровой видеокамерой со скоростью съемки 15000 кадров/с. Эксперименты [1], проведенные на чистой жидкости (фреон-21), показали, что в условиях ступенчатого тепловыделения, при скорости разогрева поверхности теплоотдачи порядка 1000 К/с и выше, образовавшаяся на поверхности теплоотдачи паровая полость распространяется вдоль нагревателя с ускорением. Обнаружено, что на зависимости скорости фронта от температурного напора наблюдаются две области, которые характеризуются различными темпами изменения скорости самоподдерживающегося фронта испарения. Переход к области с более сильной зависимостью скорости распространения фронта от температурного напора связан с потерей устойчивости межфазной поверхности и развитием быстрорастущих мелкомасштабных возмущений. Добавление в чистую жидкость 0,001 мольной доли порошка SiO_2 с размером частиц 20-25 нм привело к существенному увеличению скорости распространения парового фронта при соответствующих температурных напорах.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Интеграционного проекта СО РАН совместно с УрО РАН (№ 68).

Литература:

1. Жуков В.Е., Павленко А.Н., Моисеев М.И. Динамика вскипания фреона-21 при ступенчатом тепловыделении в условиях свободной конвекции // Труды XXIX Сибирского Теплофизического Семинара .- 15–17 ноября 2010, Новосибирск. - 2010.- Секция 4 доклад №15.

НАГРУЖЕННЫЕ КОМПЛЕКСНЫЕ УРАВНЕНИЯ В ЗАДАЧАХ СО СВОБОДНОЙ ГРАНИЦЕЙ

Е.Н. Журавлева, Е.А Карабут

Решается система двух линейных уравнений

$$\frac{\partial}{\partial t}\begin{pmatrix} f_1 \\ f_2 \end{pmatrix} + A(\zeta)\frac{\partial}{\partial \zeta}\begin{pmatrix} f_1 \\ f_2 \end{pmatrix} + B(\zeta,t)\begin{pmatrix} f_1 \\ f_2 \end{pmatrix} = \vec{F} \qquad (1)$$

относительно комплексных неизвестных $f_1(\zeta,t) = \varphi_1 + \mathrm{i}\psi_1$, $f_2(\zeta,t) = \varphi_2 + \mathrm{i}\psi_2$. Система является нагруженной, т.е. вектор правой части $\vec{F}$ зависит от значений неизвестных функций и их производных в точке $\zeta = 0$. Дополнительно предполагается, что $f_1(\zeta,t), f_2(\zeta,t)$. являются аналитическими функциями от комплексной переменной ζ. Это означает, что кроме уравнений (1) должны быть выполнены уравнения Коши-Римана. Таким образом имеем переопределенную системы из восьми уравнений относительно четырех вещественных неизвестных.

Не при каждой матрице A эта переопределенная система имеет решение. Показано, что задача Коши для (1) будет корректной только в двух случаях. Либо, если след матрицы A равен нулю, либо величина, равная отношению $\det A$ к квадрату следа, должна быть вещественной и не превышать $1/4$.

Указанные условия, накладываемые на матрицу A, выполняются автоматически, если комплексная система (1) физически содержательна. Подобные комплексные переопределенные системы естественно возникают в различных задачах механики. Например, в задаче о нелинейных гравитационных волнах малой амплитуды [1], в задаче обтекания потоком прямого угла [2]. В докладе будут представлены новые результаты решения системы (1), описывающие эволюцию малых возмущений на свободной поверхности некоторых струйных течений.

Литература:

1. Карабут Е.А. Точное решение одной нелинейной краевой задачи теории волн на поверхности жидкости конечной глубины // ПММ. 2009. Т. 73. Вып. 5. С. 741–762.

2. Журавлева Е.Н., Карабут Е.А. Нагруженные комплексные уравнения в задаче о соударении струй // ЖВМиМФ. 2011. Т. 51. №5. С. 1–20.

УРАВНЕНИЕ ДЛЯ КВАЗИ-ОДНОМЕРНЫХ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОЛН

В.Е. Захаров

Получено простое уравнение, описывающее эволюцию квази-одномерных волн на поверхности жидкости. Уравнение основано на важной концепции исчезновения неупругих четырех-волновых взаимодействий для волн на воде и более удобно для анализа и численного моделирования, чем нелинейное уравнение Шредингера или уравнение Дитче.

ОБ ОСРЕДНЕННЫХ УРАВНЕНИЯХ ВИБРАЦИОННОЙ КОНВЕКЦИИ И НЕКОТОРЫХ ВИБРАЦИОННЫХ ЭФФЕКТАХ

С.М. Зеньковская

Термин “вибрационная конвекция” появился после выхода работы [1], где впервые была поставлена задача о влиянии высокочастотных вертикальных колебаний контейнера с твердой границей на возникновение тепловой конвекции. В [1] к уравнениям конвекции Обербека–Буссинеска (ОБ) применен метод осреднения, который позволяет выделить в неизвестных плавную и быструю компоненты. В результате осреднения для плавных компонент получается замкнутая система уравнений, и быстрые составляющие однозначно выражаются через медленные. В результате в [1] было показано стабилизирующее влияние вертикальных вибраций. Подход, примененный в [1], был в последствии применен в целом ряде работ по вибрационной конвекции. В результате были обнаружены различные вибрационные эффекты, которые могут позволить управлять конвекцией с помощью вибрации. В случае областей со свободной границей и поверхностями раздела, и слабо неизотермической неоднородной жидкостью нужно осреднять обобщенные уравнения ОБ, а затем в них переходить к приближению ОБ. Этот подход был предложен Д.В. Любимовым. В результате осреднения в таких задачах появляются виброгенные силы в уравнениях и виброгенные напряжения в краевых условиях [2]. В докладе предполагается сделать краткий обзор известных результатов, а также рассказать о новых, связанных с задачами вибрационной конвекции областях со свободными границами.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ N 09-01-00658-а.

Литература:

1. Зеньковская С.М., Симоненко И.Б. О влиянии вибрации высокой частоты на возникновение конвекции // Изв. АН СССР, МЖГ. 1966. N5. С. 51–55.

2. V.A. Novosiadliy, S.M. Zen'kovskaya. Averaging method and long-wave asymptotics in vibrational convection in layers with an interface // J. of Eng. Math. 2011. V. 69. N2–3. P. 277–289

ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ ВИБРАЦИИ НА ВОЗНИКНОВЕНИЕ ТЕРМОКАПИЛЛЯРНОЙ КОНВЕКЦИИ В ДВУХСЛОЙНОЙ СИСТЕМЕ

С.М. Зеньковская, В.А. Новосядлый

Изучается вибрационная термокапиллярная конвекция в двухслойной системе несмешивающихся жидкостей с поверхностью раздела. В [1] выведены осредненные уравнения в случае, когда жидкости неоднородны, а поверхность раздела деформируется в целом. В этой работе приведена спектральная задача для нормальных возмущений, которая проанализирована для однородных жидкостей. Показано, что вибрация сглаживает поверхность раздела. В докладе будут приведены результаты для случаев неоднородных жидкостей, а поверхность раздела не деформируется либо в целом, либо в среднем. Оказывается, что в этих двух случаях наблюдаются различия в поведении нейтральных кривых и собственных функций. Особое внимание уделяется случаю нагрева сверху. *Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ N 09-01-000658-а.*

Литература:

1. Зеньковская С.М., Новосядлый В.А. Действие высокочастотной

поступательной вибрации на конвективную неустойчивость двухслойной жидкости // ПММ. 2009. Т. 73. Вып. 3. С. 384–396.

ДИНАМИКА ПОВЕРХНОСТИ РАЗДЕЛА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЖИДКОСТЕЙ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ

Н.М. Зубарев

Рассмотрена динамика поверхности раздела двух идеальных диэлектрических жидкостей, находящихся во внешнем однородном электрическом поле. Продемонстрирована возможность реализации особого режима движения жидкостей, для которого потенциалы скорости и электрического поля связаны линейным соотношением. Ранее сходный режим движения был изучен для исходно плоской границы раздела в вертикальном электрическом поле [1,2]. Как оказывается, редукция осуществима и в более общем случае, когда исходная геометрия границы раздела и направление внешнего поля произвольны. Так, в частности, подобный подход применим при рассмотрении поведения капли диэлектрической жидкости, деформируемой электростатическими силами. В пределе, когда плотность капли мала по сравнению с плотностью окружающей ее жидкости, редуцированные уравнения близки по форме с уравнениями, описывающими процесс лапласовского роста. В плоской геометрии уравнения движения сводятся к конечному числу обыкновенных дифференциальных уравнений. Эволюция поверхности при этом приводит к формированию точки заострения за конечное время.

Работа выполнена при поддержке Совета по грантам при Президенте РФ (проект МД-4049.2010.2) и РФФИ (проект 11-08-00434) в рамках Программы фундаментальных исследований, реализуемых совместно УрО и СО РАН (проект 09-С-2-1005).

Литература:

1. Zubarev N.M. Nonlinear dynamics of the interface of dielectric liquids in strong electric field: Reduced equations of motion // Physics of Fluids. 2006. V. 18. art. no 028103.

2. Зубарев Н.М., Зубарева О.В., Руев Г.А. Точные частные решения для динамики поверхности диэлектрической жидкости с заряженной поверхностью в поле тяжести // ЖТФ. 2010. Т. 80. В. 7. С. 153–155.

РАВНОВЕСНЫЕ КОНФИГУРАЦИИ ПОВЕРХНОСТИ ПРОВОДЯЩЕЙ ЖИДКОСТИ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ ПРОВОДНИКА С ТОКОМ

О.В. Зубарева, Н.М. Зубарев

В отсутствии внешнего магнитного поля шар, плоскость и цилиндр круглого сечения представляют собой простейшие равновесные конфигурации свободной поверхности жидкости. При появлении поля поверхность деформируется магнитными силами. Компенсация их капиллярными силами может привести к возникновению нетривиальных равновесных конфигураций. Ряд подобных решений был численно получен в работах [1,2]. В данной работе найдены семейства точных решений для равновесных конфигураций изначально плоской и цилиндрической поверхностей проводящей жидкости в магнитном поле системы прямых проводников с током, расположенных параллельно границе жидкости. При решении задачи осуществлялось конформное преобразование области вне жидкости в полуплоскость или в область вне круга единичного радиуса (ранее аналогичная методика использовалась нами при решении электростатических задач [3]). В новых переменных задача о распределении поля допускала точное решение, а определения требовала отображающая функция.

Работа выполнена при поддержке Совета по грантам при Президенте РФ (проект МД-4049.2010.2) и РФФИ-Урал (проект 10-08-96016) в рамках Программы Президиума РАН "Фундаментальные проблемы нелинейной динамики" (проект 09-П-2-1003).

Литература:

1. Shercliff J.A. Magnetic shaping of molten metal columns// Proc. R. Soc. Lond. A 1981. Vol. 375 P. 455–473.

2. Blyth M.G. and Vanden-Broeck J.-M. Magnetic shaping of a liquid metal column and deformation of a bubble in vortex flow// SIAM J. Appl. Math. 2005. Vol. 66. N1. P. 174–186.

3. Zubarev N.M. and Zubareva O.V. Exact solutions for shapes of two-dimensional bubbles in a corner flow// Phys. Fluids. 2007. Vol. 19. P. 102110

ДИНАМКА КАПЛИ ЖИДКОСТИ НА ПОДЛОЖКЕ ПРИ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ВИБРАЦИЯХ

А.О. Иванцов

Изучено влияние высокочастотных вибраций на поведение капли на осциллирующей твердой подложке. Ось вибраций направлена по нормали к плоскости подложки, амплитуда вибраций мала по сравнению с равновесным радиусом капли. Предполагается, что каплю окружает газовая среда, плотность которой пренебрежимо мала; влияние силы тяжести не учитывается.

Исследованы акустические колебания полусферической капли, получены частоты собственных звуковых осесимметричных колебаний полусферической капли. Найдено аналитическое решение задачи о вынужденных осесимметричных колебаниях полусферической капли. Проведены расчеты для ситуаций, когда поверхностные силы можно считать малыми (частота вибраций подложки велика по сравнению с частотами собственных колебаний формы), и при учете поверхностного натяжения.

Для определения осредненной формы несжимаемой капли в случае конечных значений амплитуды вибраций использован вариационный принцип [1]. Пульсационная задача с заданной средней формой поверхности капли решалась методом граничных элементов. Показано, что вибрации приводят к уменьшению высоты капли, площадь ее основания при этом увеличиваться. При увеличении интенсивоности вибраций средний краевой угол уменьшается. Полученные результаты хорошо согласуются с аналитическим решением, найденным для капли, форма которой близка к полусферической.

Работа выполнена при финансовой поддержке из средств гранта Президента РФ МК-2368.2011.1.

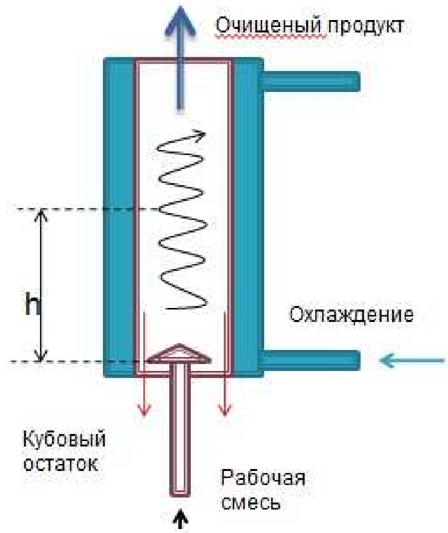
Литература:

1. Любимов Д.В., Любимова Т.П., Черепанов А.А. Динамика поверхности раздела в вибрационных полях Москва: Физматлит, 2003. 216 с.

УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ РАЗДЕЛЕНИЯ БИНАРНОЙ СМЕСИ В ВИХРЕВОЙ ТРУБЕ

Су Ман Кан, Н.И. Яворский

В работе представлены результаты по разделению смеси этилового спирта и воды в вихревом ректификационном аппарате нового типа. В настоящее время широко распространены и хорошо себя зарекомендовали ректификационные аппараты называемые колоннами [1]. При разделении компонент ключевую роль играет величина площади взаимодействия пара и флегмы и большинство усовершенствований процесса ректификации связано с увеличением поверхности контакта фаз. Недостатком таких аппаратов является большая металлоемкость и ограничение по расходу, поскольку в результате неустойчивости нарушается однородность потока по сечению и происходит захлебывание колонны. Имеются аппараты, в которых для сепарации используется закрученный поток смеси, среди них известность приобрела трёх-поточная трубка Ранка для разделения природного газа [2,3], однако эффективность подобных устройств довольна низка. В данной работе сделана попытка использовать физические явления, играющие негативную роль в обычных разделительных колоннах для повышения производительности и эффективности процесса разделения бинарной смеси. В работе используются значительно более высокие скорости потока, при этом гидродинамическая неустойчивость служит для увеличения эффективной поверхности контакта фаз. Кроме этого высокие относительные скорости движения фаз значительно увеличивают коэффициент массообмена, что способствует повышению производительности и эффективности разделительного устройства. Закрученный поток бинарной смеси, находящейся в паровой фазе, вводится снизу в вертикальную охлаждаемую извне трубу. На внутренней поверхности трубы образуется конденсат, с развитой динамической межфазной границей. Величина межфазной поверхности значительно увеличивается благодаря развитию на ней гидродинамических неустойчивостей, при этом поверхность постоянно обновляется, что приводит к существенному увеличению коэффициента массообмена. Вертикальное расположение вихревой трубы приводит к возникновению противотока низкокипящего и высококипящего компонентов, что является основой высокой эффективности работы всех разделительных устройств.



На рисунке изображен ректификационный аппарат, в котором закрученный газовый двухкомпонентный поток взаимодействует с движущимся ему на встречу потоком жидкости (флегмы). Конструкция ректификационного аппарата состоит из трубы расположенной вертикально, в которую снизу в центре подается закрученный поток водоспиртовой паровой смеси под небольшим углом вверх относительно горизонтали. Крутящийся поток в трубе делится на кубовый остаток, который стекает по стенке вниз и конечный продукт, который виде пара поднимается вверх и далее конденсируется и идет на анализ. Сама труба имеет охлаждающий кожух. В экспериментах с вихревым сепаратором управляющими параметрами были расход на входе аппарата и охлаждение. Расход исходной смеси регулировался мощностью тэнов нагревателей (спирт и вода кипятились отдельно и смешивались в паровой фазе). Установлено, что охлаждение играет ключевую роль в процессе ректификации. Стабильность охлаждения сильно влияет на качество и количество продукта на выходе и в кубовом остатке. Большое влияние на характер разделения оказывают геометрические характеристики трубы (соотношение длины и диаметра), гидродинамические и термодинамические параметры на входе в трубу. Управление этими параметрами позволяет получить процесс разделения высокой производительности и эффективности. Достигнуты следующие режимы разделения: 1) на входе концентрация спирта 22% при расходе 3кг/час – на выходе концентрация спирта 92,5% и расходе 0,22 кг/час, расход охлаждения (вода) составлял 14 кг/час (наилучший результат по степени разделения), 2) на выходе 0,67 кг/час 79%-ой смеси при 3,5кг/час и 35% концентрации на входе и охлаждении 10,7 кг/час (наилучший результат по количеству продукта). Эти результаты говорят о том, что закрученный поток многократно усиливает процесс массообмена по сравнению с обычной дистилляцией.

Работа выполнена при финансовой поддержке заказного интеграционного гранта СО РАН №5, Блок 8.

Литература:

1. Чернобыльский И.И. Машины и аппараты химических производств. - Киев: МАШГИЗ, 1961.

2. Жидков М. А. Комарова Г.А., Николаев В.В., Исхаков Р.М. и др. Применение трехпоточной вихревой трубы в установках низкотемпературной сепарации природного газа на газодобывающих промыслах. - Оренбург: Оренбургский межотраслевой территориальный центр научно-технической информации и пропаганды, 1990. С. 20-26.

3. Николаев В.В., Жидков М.А., Комарова Г.А., Климов Н.Т., Никитин В.И., Райков А.А., Лободенков А.К. Использование вихревой трубы при низкотемпературном разделении сероводородсодержащих газов // Газовая промышленность. 1995. Т. 12.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОБРУШЕНИЯ И ПОСЛЕДУЮЩЕГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ УЕДИНЕННЫХ ВОЛН В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ

С.Н. Карабцев

Для принятия оптимальных решений при проектировании морских и прибрежных сооружений необходима обширная информация о возможном влиянии на эти объекты различных внешних факторов, среди которых наиболее значимыми являются набегающие и обрушающиеся волны, которые могут вызывать движение осадочных пород, изменение формы дна, разрушение конструкций.

Не так давно экспериментальная [1] и вычислительная гидродинамика [2] сконцентрировали свои усилия на более качественном описании процессов обрушения волн, диссипации энергии, образовании двух-, трехмерных вихрей, вовлечении воздуха гребнем волны, а также моделировании волновых ударов и гидродинамических процессов в прибрежной зоне. В настоящей работе проводится комплексное исследование процессов обрушения и последующего распространения нелинейных уединенных волн в прибрежной зоне. Математическое моделирование данных процессов проводится в рамках модели идеальной несжимаемой жидкости в полной нелинейной постановке на основе уравнений Эйлера.

В силу значительных деформаций свободных границ применение классических сеточных методов становится невозможным. Для численного моделирования в данной работе используется модифицированный метод естественных соседей (NEM).

Литература:

1. Peregrine D.H. Breaking Waves on Beaches // Ann. Rev. of Fluid Mech. 1983. Vol. 15. P. 149-178.

2. Iafrati A. Air-water interaction in breaking waves // Proceedings of International Conference on Violent Flows, Japan. 2007.

ЭФФЕКТ БАРОДИФФУЗИИ ПРИ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИИ ЭЛЕМЕНТОВ В УСЛОВИЯХ ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ

А.Г. Князева

В средах с разными свойствами и в различных условиях роль таких механизмов переноса как термо- и бародиффузия (или диффузия под действием градиента напряжений) — различна. Роль этих явлений, как и любых перекрестных эффектов, возрастает в неравновесных условиях, к каким относятся условия ионной и лазерной имплантации. Можно выделить несколько причин: высокие градиенты температуры в зоне обработки и вызванные ими механические напряжения; специфическое воздействие потоков частиц на материал, приводящее к изменению свойств, наличие примесей и генерация дефектов. Особую роль в перераспределении примесей и дефектов играют механические напряжения: все, связанные с ними эффекты — составная часть радиационно-стимулированной диффузии. В настоящей работе предлагаются модели перераспределения примесей в условиях ионной имплантации в рамках модели механики деформируемого многокомпонентного тела с учетом взаимовлияния диффузионных и механических процессов. Анализируются динамические эффекты и аналогии с гидродинамическими моделями процессов переноса.

Работа выполняется в рамках Государственного контракта № 16.740.11.0122 (Федеральная целевая программа "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России" на 2009-2013 гг., в рамках реализации мероприятия № 1.2.1 Проведение научных исследований научными группами под руководством докторов наук).

ВОЗНИКНОВЕНИЕ ТЕПЛОВОЙ КОНВЕКЦИИ ВЯЗКОУПРУГОЙ ЖИДКОСТИ В ЗАМКНУТОЙ ПОЛОСТИ СО СВОБОДНЫМИ ГРАНИЦАМИ

К.В. Ковалевская, Т.П. Любимова

Исследуется тепловая конвекция вязкоупругой жидкости в подогреваемом снизу горизонтальном цилиндре квадратного сечения со свободными границами. Для описания реологических свойств жидкости используется обобщенная модель. Исследование характера возбуждения конвекции проводится двумя способами. (1) решение задачи представляется в виде ряда Фурье по пространственным координатам с амплитудами, зависящими от времени, и с помощью методов слабо-нелинейного анализа получаются аналитические выражения для границ, разделяющих плоскость реологических параметров на области с разным характером возбуждения конвекции; (3) полные нелинейные уравнения решаются численно методом конечных разностей, строятся амплитудные кривые. Обнаружено хорошее соответствие результатов, полученных указанными методами. Найдены границы, разделяющие области жесткого и мягкого возбуждения конвекции на плоскости реологических параметров время релаксации напряжений — отношение времени запаздывания деформаций ко времени релаксации напряжений, для монотонной и колебательной неустойчивости.

Литература::

1. Rosenblat S. Thermal convection in a viscoelastic liquid // J. Non-Newtonian Fluid Mech. 1986. V. 21. P. 201–223.

2. Park H.M., Lee H.S. Nonlinear hydrodynamic stability of viscoelastic fluids heated from below // J. Non-Newtonian Fluid Mech. 1995. V. 60. I. 1. P. 1–26.

ВИБРАЦИОННЫЕ ПОТОКИ И ИХ УСТОЙЧИВОСТЬ В ЦЕНТРИФУГИРОВАННОМ СЛОЕ

В.Г. Козлов, Д.А Полежаев

Обобщаются результаты экспериментального исследования вибрационного течения центрифугированного слоя жидкости во вращающемся цилиндре. Под действием поперечных оси вращения вибраций в жидкости возбуждается бегущая азимутальная волна, генерирующая в вязком слое вблизи твердой границы неоднородные по фазе колебания, в результате чего жидкость приходит в среднее движение в направлении распространения волны [1]. В зависимости от скорости движения жидкости возможны различные режимы течения: двумерное азимутальное течение, пространственно-периодическое вихревое течение и хаотическое течение. При увеличении скорости осредненного движения двумерное течение становится неустойчивым к возникновению вихревого движения. Возбуждение вихревого течения обусловлено неустойчивостью колебательного движения жидкости в пограничном слое Стокса вблизи твердой границы. Размер вихревых ячеек определяется толщиной вязкого слоя и зависит от безразмерной скорости вращения [2]. Смена режимов происходит при достижении критического числа Рейнольдса, рассчитываемого по скорости осредненного движения жидкости в вязком пограничном слое, и не зависит от направления движения. Разрушение вихревого течения происходит в результате центробежной неустойчивости осредненного движения во всем объеме жидкости. В случае вибрационного течения данный вид неустойчивости испытывает только опережающее течение: в надкритической области вихревое течение становится хаотическим.

Работа выполнена при поддержке Рособразования (Темплан N01201058898).

Литература:

1. Иванова А.А., Козлов В.Г., Полежаев Д.А. Вибрационная динамика центрифугированного слоя жидкости // Изв. РАН. МЖГ. 2005. N 2. С. 147–156.

2. V.G. Kozlov, D.A. Polezhaev. Stability of rimming flows under vibration // Microgravity Sci. Technol. 2009. Vol. 21. Pp. 79–82.

ОТРЫВ СВОБОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ЖИДКОСТИ ОТ ПОДВИЖНОЙ ВЕРТИКАЛЬНОЙ СТЕНКИ

А.А. Коробкин

Рассматривается начальная стадия течения тяжелой жидкости со свободной границей. Течение вызвано движением вертикальной стенки, направленным от жидкости. Движение стенки происходит с постоянным ускорением. Жидкость — идеальная и несжимаемая, возникающее течение — потенциальное. Задача о движении стенки в сторону жидкости исследована в [1].

Показано, что если ускорение стенки мало по сравнению с ускорением свободного падения, то поверхность жидкости отрывается от стенки на экспоненциально малом интервале. При конечной величине ускорения стенки, отрыв границы жидкости от стенки происходит мгновенно на интервале, длина которого определяется из условия конечности перемещений жидких частиц. При этом схема течения с отрывом подобна схеме, предложенной Л.И. Седовым в задаче об импульсивном старте вертикальной плавающей пластины [2]. На начальной стадии движение жидкости описывается смешанной краевой задачей для поля течения с неизвестным заранее положением точки отрыва свободной границы жидкости от движущейся стенки. Решение задачи построено с помощью полных эллиптических интегралов. Исследована начальная форма оторвавшейся свободной границы и проведено ее сравнение с соответствующим решением задачи о разрушении плотины. Показано, что свободная граница в точке отрыва подходит по нормали к стенке.

Работа выполнена при финансовой поддержке Королевского Общества в Лондоне.

Литература:

1. King, A.C., Needham, D.J. (1994) The initial development of a jet caused by fluid, body and free surface interaction. Part 1. A uniformly accelerating plate. J. Fluid Mech. Vol. 268, pp. 89-101.

2. Седов Л.И. (1950) Плоские задачи гидродинамики и аэродинамики, М.—Л.

ДИФФУЗИЯ ПАВ ИЗ КАПЛИ, СОЕДИНЕННОЙ С РЕЗЕРВУАРОМ

К.Г.Костарев, А.В. Шмыров, К.А. Бушуева

Характер, интенсивность и продолжительность концентрационно-капиллярной конвекции во многом определяются мощностью источника поверхностно-активного вещества (ПАВ) и его расположением в объеме жидкости, имеющей межфазную границу. В качестве примера можно привести диффузию ПАВ из капли бинарной смеси в окружающую жидкость в условиях невесомости. Капля соединена тонкой длинной трубкой (иглой) с большим резервуаром, заполненным исходной смесью. Как оказалось, снижение концентрации ПАВ в капле спровоцировало развитие его диффузии из иглы. Выход ПАВ привел к возникновению капиллярного течения, которое, в свою очередь, определило структуру крупномасштабного движения в капле.

В докладе представлены результаты исследования взаимодействия капиллярного и гравитационного механизмов движения в аналогичной задаче в наземных условиях. Визуализация течений и полей концентрации продемонстрировала, что диффузия ПАВ из иглы при нормальном уровне гравитации приводит к установлению колебательного режима капиллярной конвекции в капле. Определены зависимости частоты "вспышек" конвекции Марангони, продолжительности режима осцилляций течения и объема исходной смеси, вовлеченного в массообмен, от размеров капли и исходной концентрации ПАВ. Проведено сравнение со случаем диффузии ПАВ из уединенной капли. Также рассмотрена задача о диффузии ПАВ из раствора в каплю, которая соединена с резервуаром, заполненным исходной жидкостью.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 10-01-96028), ФЦП (ГК № 14.740.11.0352) и Программы ОЭММПУ РАН № 09-Т-1-1005.

РОСТ ПОКРЫТИЯ В УСЛОВИЯХ ВАКУУМНО-ДУГОВОГО МЕТОДА: ТЕОРИЯ И ЭКСПЕРИМЕНТ

М.В. Крипакова, А.Г. Князева, И.М. Гончаренко

Мировой опыт последних лет в области получения функциональных покрытий в вакууме показывает, что одновременное осаждение на поверхность подложки ионов различных элементов, при широком разнообразии комбинаций и количественном соотношении их в плазменном потоке, дает покрытия с уникальными свойствами. Поэтому моделирование процесса роста износостойких покрытий представляет научный и практический интерес. В соответствии с данными эксперимента, рост нитридного покрытия идет со скоростью, регулируемой параметрами вакуумно-дуговой установки. Предполагаем, что вследствие направленного потока положительных ионов Ti и Al с катода, скорость роста покрытия также определяется технологическими параметрами. Примеси внедрения поступают в покрытие из плазмы так, что синтез нитридной пленки идет в диффузионном режиме. В простейшем приближении динамику роста двухкомпонентного покрытия описываем одним уравнением диффузии с коэффициентом, различным в покрытии и в подложке. В более сложной ситуации имеем систему диффузионных уравнений с перекрестными потоками и коэффициентами, зависящими от концентрации всех компонентов. Задачу с подвижной границей решаем численно, выбирая шаг по времени условия попадания внешней границы в узел пространственной сетки. В результате получаем распределение всех концентраций элементов в произвольный момент времени и толщину покрытия.

Работа выполняется в рамках Государственного контракта № 16.740.11.0122 (Федеральная целевая программа "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России" на 2009-2013 гг., в рамках реализации мероприятия № 1.2.1 Проведение научных исследований научными группами под руководством докторов наук).

ДВИЖЕНИЕ ЖИДКОЙ ПЛЕНКИ В ЩЕЛЕВОМ МИКРОКАНАЛЕ

В.В. Кузнецов

Построена математическая модель для расчета движения жидкой пленки совместно с газовым потоком в микроканале с учетом взаимного влияния процессов испарения, теплоотдачи, переноса пара газовым потоком, образования термокапиллярных поверхностных структур и переменного тяготения. Течения предполагаются нестационарными и трехмерными.

Проведены расчеты полей скорости, температур в жидкой и газовой фазах, концентрации пара и формы границы раздела при течении в микроканале. Анализ температурных полей показал, что в отличие от стекающих пленок, здесь температура ниже нагревателя по потоку постоянна по глубине канала. Это объясняется выравниванием температуры в фазах процессами испарения-конденсации, играющих определяющую роль в межфазном теплообмене при наличие газовых потоков. При этом если вблизи нагревателя происходит испарение жидкости, то ниже по потоку возможна конденсация. Так как скорость газа на порядок выше, чем жидкости, перераспределение тепла происходит существенно быстрее, чем в стекающих пленках. Теплоотдача выражено неоднородная. На передней кромке нагревателя теплоотдача наивысшая, а затем быстро падает. Имеется также некоторое усиление теплоотдачи на задней кромке, чего не наблюдалось в стекающих пленках. Такое усиление связано, по-видимому, с высокой интенсивностью испарения вблизи нижней кромки нагревателя.

Работа выполнена при финансовой поддержке Междисциплинарного интеграционного гранта СО РАН № 64, гранта РФФИ № 10-01-00007 и ФЦП "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России" государственный контракт 14.740.11.0355 от 20.09.2010.

БИФУРКАЦИИ СОЛИТОНОВ ВНУТРЕННИХ ВОЛН

Е.А. Кузнецов

Этот доклад представляет собой краткий обзор работ, посвященных бифуркациям солитонов жесткого и мягкого типов. Основное внимание уделяется универсальности поведения солитонов и их устойчивости вблизи мягкой бифуркации. На примере солитонов внутренних волн, распространяющихся вдоль границы между двумя идеальными жидкостями, показано, что вблизи мягкой бифуркации солитоны превращаются в солитон огибающей нелинейного уравнения Шредингера. При этом амплитуда солитона уменьшается корневым образом при приближении к точке бифуркации. Проанализированы трансформации солитонов при отношениях плотностей жидкостей вблизи критического отношения $\rho_1/\rho_2 = (21 - 8\sqrt{5})/11$, когда происходит смена мягкой бифуркации на жесткую. Выше и ниже этого перехода солитоны ведут себя по разному. При отношениях плотностей, меньше критического, солитоны испытывают мягкую бифуркацию (в том числе это верно для волн на глубокой воде). Такие солитоны устойчивы по Ляпунову относительно одномерных возмущений. При отношениях плотностей, больших критического, солитоны подвержены жесткой бифуркации, они оказываются неустойчивыми. Нелинейная стадия неустойчивости оканчивается коллапсом - его разрушением. Вблизи коллапса амплитуда солитона и его ширина демонстрируют автомодельное поведение со слабой асимметрией на хвостах импульса за счет процессов укручения.

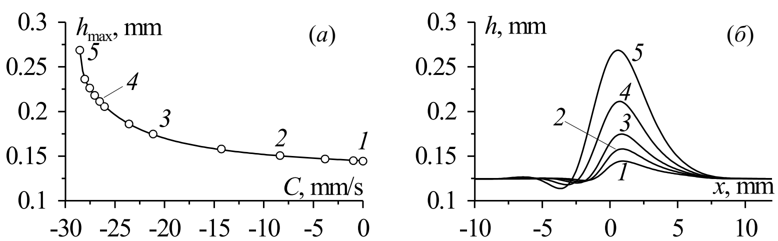
Работа выполнена при финансовой поддержке Гранта Правительства РФ (контракт МинОбрНауки № 0035 от 25 ноября 2010), РФФИ (гранты 09-01-00631 и 07-01-92165), Программы Президиума РАН "Фундаментальные проблемы нелинейной динамики".

ЭФФЕКТЫ ИНЕРЦИИ И ТЕРМОКАПИЛЛЯРНОСТИ В НЕИЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПЛЕНКАХ

П.А. Куйбин, О.В. Шарыпов

Проанализировано воздействие движущегося локального источника тепла на структуру течения в тонкой пленке жидкости, стекающей по наклонной плоскости под действием гравитации. Рассмотрена сопряженная гидродинамическая и тепловая двумерная стационарная задача [1]. Уравнения для толщины пленки и для температуры решаются численно на основе конечно-разностных аппроксимаций.

Проведена серия расчетов от режима течения по вертикальной поверхности при неподвижном источнике тепла до режима движения источника тепла относительно горизонтального слоя жидкости. Показано, что изменение профиля скорости, связанное с повышением скорости движения источника тепла C и уменьшением угла наклона подложки при постоянном расходе приводит к резкому увеличению термокапиллярной деформации пленки жидкости (см. рисунок).



Максимальная деформация пленки (a) и форма свободной поверхности ($б$) при одинаковых расходах, но при различных значениях C и угла наклона

Работа выполнена при поддержке АВЦП "Развитие научного потенциала высшей школы", ФЦП "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России" и РФФИ (проект № 10-08-01093-а).

Литература:

1. Шарыпов О.В., Куйбин П.А. Влияние движения локального источника тепла на термокапиллярную деформацию тонкой пленки жидкости, стекающей под действием гравитации // Письма в ЖТФ. 2010. Т. 36. N 15. С. 1–7.

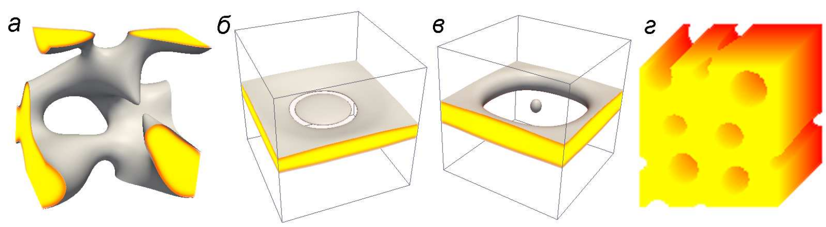
ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ НА ГРАФИЧЕСКИХ УСКОРИТЕЛЯХ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ДВУХФАЗНЫХ СИСТЕМ МЕТОДОМ LBE

А.Л. Куперштох

Для компьютерного моделирования эволюции систем с границами раздела фаз жидкость-пар используется метод решеточных уравнений Больцмана (Lattice Boltzmann Equation, LBE) [1,2], который в настоящее время широко применяется для моделирования течений жидкости, включая многофазные и многокомпонентные. Для трехмерных расчетов использовался вариант метода LBE D3Q19 с фазовыми переходами. Уравнения эволюции для функций распределения каждого из компонентов s и σ имеют вид

$$N_k^{s,\sigma}(\mathbf{x} + \mathbf{c}_k \Delta t, t + \Delta t) = N_k^{s,\sigma}(\mathbf{x}, t) + \Omega_k(N^{s,\sigma}(\mathbf{x}, t)) + \Delta N_k^{s,\sigma}.$$

Параллельные расчеты выполнялись на графическом ускорителе GTX-580, имеющем 512 потоковых процессоров. Ускорение расчетов достигало 70-90 раз. Приводятся примеры решения ряда трехмерных задач (рис. 1): спинодальная декомпозиция (а), разрыв жидкой пленки из-за эффекта Марангони (б,в), анизотропная неустойчивость первоначально однородной жидкости в сильных электрических полях (г).



Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ (№ 10-08-00805), ОЭММПУ РАН (№ 14.14.3) и Сибирского отделения РАН (№ 116-2009).

Литература:

1. Kupershtokh A.L., Medvedev D.A., Karpov D.I. On equations of state in a lattice Boltzmann method // Computers and Mathematics with Applications. 2009. V. 58, N 5. P. 965–974.

2. Kupershtokh A.L. Criterion of numerical instability of liquid state in LBE simulations // Computers and Mathematics with Applications, 2010. V. 59, N 7. P. 2236–2245.

ДЕФОРМАЦИЯ СОСТАВНОЙ КАПЛИ ПРИ ТЕРМОКАПИЛЛЯРНОМ ДВИЖЕНИИ

О.М. Лаврентьева, Л. Розенфельд, А. Нир

Капля, состоящая из двух или более несмешивающихся жидкостей (фаз), называется составной. Одна из жидкостей, составляющих двухфазную каплю, полностью или частично поглощает другую. Двухфазная капля с частичным поглощением имеет 3 повехности раздела между фазыми и внешней жидкостью. Соотношение коэффициентов поверхностного натяжения на этих поверхностях определяет углы на линии 3-фазного контакта в состоянии равновесия. Форма составной капля зависит так же от отношения объемов фаз. В [1] и [2] построены точные аналитические решения задачи о термокапиллярном движении недеформируемой двухфазной капли с частичным поглощением в приближении Стокса. В данной работе мы исследуем деформацию составной капли под действием вязких напряжений и непостоянства поверхностного натяжения. Поправка к решению для недеформируемой капли строится следуя [3] методом возмущений в предположении малости капиллярных чисел, соответствующих 3-ем повехностям раздела. Рассмотрены случаи термокапиллярного движения во внешнем градиенте температуры и движения, вызванного теплопереносом между фазами. В последнем случае деформация стационарна. При движении же в неизотермической внешней жидкости, форма капли меняется по мере ее продвижерия в более теплые области. В экстремальных случаях одна из жидкостее составляющих каплю полностью поглощает другую либо происходит разрыв капли и разделение фаз.

Литература:

1. Rosenfeld L., Lavrenteva O.M., Nir A. Thermocapillary motion of hybrid drops. Phys. Fluids. 2008. Vol. 20, 072102.

2. Rosenfeld L., Lavrenteva O.M., Nir A. On the thermocapillary motion of partially engulfed compound drops J. Fluid. Mech. 2009. Vol. 626. PP. 263-289.

3. Rosenfeld L., Lavrenteva O.M., R. Spivak R., Nir A. Motion and deformation of partially engulfed compound drops. Phys. Fluids. 2011. Vol. 23, 023101.

О ВОЗМОЖНОМ ВКЛАДЕ ЭФФЕКТОВ ВРАЩЕНИЯ ЗЕМЛИ В ГЕОДИНАМИКУ

Б.В. Левин, Е.В. Сасорова, А.В. Доманский

Обработка натурных наблюдений за сейсмичностью Земли [1] показала, что широтные распределения сейсмических событий имеют бимодальную форму с максимумами в районе $\pm 30^0 - 50^0$. Цель работы - представить модель, описывающую развитие двух симметричных относительно экватора зон гидродинамической неустойчивости в средних широтах планеты, обусловленных ее вращением, и показать проявления этой неустойчивости на материалах последних геофизических наблюдений [2]. Для этого была рассмотрена задача нахождения вариации момента инерции вращающейся планеты как функции геоцентрической широты для однородной, а также для слоисто-неоднородной по плотности Земли. На основе решения задачи получены значения критических широт, которые вычислялись как точки перегиба для графика зависимости момента инерции от широты. Полученные расчетные зависимости на качественном уровне совпадают с имеющимися натурными данными распределения количества сейсмических событий и энергии землетрясений по широтным поясам.

Литература:

1. Левин Б.В., Сасорова Е.В. Бимодальный характер широтных распределений землетрясений в Тихоокеанском регионе как проявление глобальной сейсмичности// ДАН. 2009. Т. 424. № 4. С. 538-542.

2. Левин Б.В., Сасорова Е.В., Доманский А.В. О гидродинамической неустойчивости в средних широтах Земли, обусловленной вращением планеты// ДАН. 2011. Т 438 , № 1. (в печати).

ОДНОНАПРАВЛЕННОЕ ДВИЖЕНИЕ ТРЕХ ВЯЗКИХ ЖИДКОСТЕЙ В ПЛОСКИХ СЛОЯХ

Е.Н. Лемешкова

Исследовано совместное однонаправленное движение трех вязких жидкостей под действием градиента давления в слое, ограниченном твердыми стенками. Анализ движения сводится к решению сопряженной начально-краевой задачи для трех параболических уравнений. В данной работе получены следующие результаты:

1. построено точное стационарное решение поставленной задачи;

2. решение прямой и обратной нестационарной задачи полученно в виде конечных аналитических формул методом преобразования Лапласа;

3. доказано, что если градиент давления в одной из жидкостей имеет конечный предел, то и решение выходит на стационарный режим;

4. для задачи о движении "затопленного слоя" показано, что скорости с ростом времени стремятся к разным постоянным;

5. доказано интегральное неравенство типа Фридрихса, для области состоящей из трех отрезков, и получена априорная оценка решения общей задачи.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 11-01- 00283.

УСТОЙЧИВОСТЬ РЕЛЕЯ-БЕНАРА-МАРАНГОНИ В СЛОЕ ЖИДКОСТИ С ДЕФОРМИРУЕМОЙ СВОБОДНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

Д.В. Любимов, Т.П. Любимова, Н.И. Лобов

Рассматривается устойчивость равновесия жидкости в горизонтальном плоском слое со свободной деформируемой верхней пверхностью, ограниченном снизу изотермической твердой поверхностью. На верхней границе выполняется условие теплоотдачи Био. Жидкость предполагается изотермически несжимаемой, т.е. плотность является функцией только температуры. Коэффициенты динамической вязкости, теплопроводности и теплоемкости единицы объема предполагаются постоянными. В отличие от обычного приближения Буссинеска переменность плотности учитывается не только в силе плавучести, но и в инерционных слагаемых, а также в уравнении непрерывности, поскольку, как известно, обычное приближение Буссинеска несовместимо с предположением о деформируемости свободной поверхности. В указанных условиях возможно состояние механического равновесия, в котором жидкость покоится, свободная поверхность является плоской и горизонтальной, температура является линейной функцией вертикальной координаты, распределение плотности определяется уравнением состояния, а распределение давления определяется из уравнения гидростатики. Линейная устойчивость состояния механического равновесия исследуется для линейного, газового и экспоненциального уравнений состояния. Получены карты устойчивости в пространстве параметров задачи. Расчеты показали, что даже в случае предельно большого поверхностного натяжения, при не слишком больших числах Галилея и немалых числах Релея точность приближения Буссинеска является недостаточной. Найдено, что при нулевом числе Марангони критическое значение числа Релея возрастает с уменьшением числа Галилея, и при некотором значении числа Галилея релеевская неустойчивость исчезает.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ГАЗОВЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ В ГИДРАТОНАСЫЩЕННОЙ ПОРИСТОЙ СРЕДЕ

Т.П. Любимова, Д.В. Любимов, А.О. Иванцов

Гидрат метана представляет собой похожее на лед вещество, в котором молекулы метана содержатся в пространственной решетке, сформированной молекулами воды. Интерес к исследованиям гидратов связан с возможностью развития технологий, позволяющих использовать природные газовые гидраты в виде альтернативного углеводородного сырья [1]. По некоторым оценкам [2], суммарное содержание углерода в гидратах вдвое превышает общее его количество в залежах всех прочих углеводородов, вместе взятых.

Настоящая работа посвящена исследованию процессов в пористой среде, насыщенной газовым гидратом, газом и водой. Исследуется поведение вертикального канала, пронизывающего слой гидрата, пребывающего в стабильном состоянии. Расчеты демонстрируют, что возможно как заполнение канала гидратом, так и его долговременное существование. Оценки показывают, что за время жизни канала в окружающую среду через него может быть выброшено значительное количество газа.

Работа выполнена при финансовой поддержке из средств гранта CRDF RUP1-2945-PE-09.

Литература:

1. Цыпкин Г.Г. Влияние разложения газового гидрата на добычу газа из пласта. Изв. РАН. МЖГ. № 1, 2005. - с. 132–141.

2. Макогон Ю.Ф. Природные гидраты: открытие и перспективы. Газовая промышленность. 2001, № 5. с. 10–16.

ВОЗНИКНОВЕНИЕ КОНВЕКЦИИ В ДВУХСЛОЙНОЙ СИСТЕМЕ ЖИДКОСТЕЙ С ДЕФОРМИРУЕМОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ РАЗДЕЛА И ЗАДАННЫМ ТЕПЛОВЫМ ПОТОКОМ НА ВНЕШНИХ ГРАНИЦАХ

Т.П.Любимова, Я.Н.Паршакова

Возникновение тепловой конвекции в двухслойной системе горизонтальных слоев несмешивающихся жидкостей, при наличии вертикального градиента температуры изучается для случая заданного теплового потока на внешних границах. Рассматривается случай жидкостей с близкими плотностями. В этом случае можно применить обобщенное приближение Буссинеска [1], позволяющее корректно учесть деформации поверхности раздела. Найдено, что в рассматриваемой задаче существуют две длинноволновые моды неустойчивости: монотонная и колебательная. Имеются два типа монотонных возмущений. Для возмущений первого типа характерно возникновение конвекции в каждом из слоев, так что граница раздела остается практически недеформированной. Второй тип возмущений существенно связан с деформациями поверхности раздела. Границы устойчивости равновесия по отношению к длинноволновым возмущениям получены аналитически, по отношению к возмущениям с конечной длиной волны - численно. Найдено, что возмущения первого типа являются наиболее опасными при достаточно больших по модулю числах Галилея. При промежуточных значениях числа Галилея интенсивный обмен энергией между двумя типами возмущений ведет к возникновению колебательной неустойчивости. Изучено влияние температурной зависимости поверхностного натяжения и изменения толщин слоев.

Литература:

1. Н.И. Лобов, Д.В. Любимов, Т.П. Любимова. Конвективная неустойчивость системы горизонтальных слоев несмешивающихся жидкостей с деформируемой границей раздела. Изв. РАН, Механика жидкости и газа, 1996, N 2, С. 32-39.

НЕУСТАНОВИВШЕЕСЯ ДВИЖЕНИЕ ЭЛЛИПТИЧЕСКОГО ЦИЛИНДРА ПОД СВОБОДНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

Н.И. Макаренко, В.К. Костиков

Исследована задача о генерации нелинейных нестационарных волн на поверхности глубокой идеальной жидкости погруженным эллиптическим цилиндром. Используется метод сведения исходной постановки к интегро-дифференциальной системе уравнений для функции, задающей возвышение свободной поверхности, а также нормальной и тангенциальной составляющей скорости на свободной поверхности. Для случая движения цилиндра с постоянным ускорением из состояния покоя построена начальная по времени асимптотика решения задачи. Рассмотрены различные режимы движения (вертикальное всплытие, вертикальное погружение, горизонтальное и комбинированное движения), проведено сравнение волновых картин для разных эксцентриситетов и глубин начального погружения.

КОМПЛЕКС ПРОГРАММ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЗВЕТВЛЯЮЩИХСЯ РЕШЕНИЙ И ИХ УСТОЙЧИВОСТИ В ТЕОРИИ КАПИЛЛЯРНО-ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН

О.В. Макеев, Б.В. Логинов, А.Н. Андронов

Построение общего вида уравнения разветвления (УР) методами группового анализа основано на теореме о наследовании им симметрии нелинейной задачи. Если a_j, $j = 1,2$ – базисные векторы плоской кристаллической решетки, и l – вектор обратной решетки, то подпространство нулей $N(B)$ линеаризации имеет базис $\{e^{2\pi i\langle l_j,q\rangle}\}_1^n$ с нумерацией: если вектору l отвечает нечетный номер, то вектору -l следующий четный. Группа G является полупрямым произведением непрерывной группы сдвигов, сохраняющей периодичность и точечной группы вращений-отражений решетки. Построение вещественных УР выполняется в комплексных переменных.

Входные данные программы образованы инфинитезимальными операторами соответствующей алгебры Ли в координатном пространстве Ξ^n. Создан алгоритм перебора всевозможных сочетаний индексов переменных для поиска по возрастанию их порядков мономиальных решений M_k системы ДУ $X_\nu(M_k) = 0$, $\nu = 1,2$. Количество полученных инвариантов превышает число функционально независимых. Вторая часть программы определяет связи между использованными инвариантами. Факторизация разложения УР по степеням использованных инвариантов реализована в третьей части.

Определение устойчивости семейств в теоретико-групповом моделировании основано на принципе линеаризованной устойчивости для системы ОДУ с правой частью в виде оператора УР. Устойчивое семейство решений нелинейной задачи есть параметризованное действием группы семейство редуцированно устойчивых решений. Размерность подпространства нулей производной Фреше нелинейного оператора на ответвившемся решении совпадает с числом нулей матрицы Якоби УР на его решении. Знаки вещественных частей остальных собственных значений, определяемых по сетке физических параметров, дают области редуцированной устойчивости семейств разветвляющихся решений.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ И КОНТАКТНОГО УГЛА СМАЧИВАНИЯ ПО ФОРМЕ ПОВЕРХНОСТИ ПУЗЫРЕЙ И КАПЕЛЬ

И.В. Марчук

Построены и протестированы численные алгоритмы решения уравнения Юнга – Лапласа, описывающего форму неподвижных осесимметричных капель и пузырей, находящихся на горизонтальной плоской поверхности [1-2], при различных способах задания начальных данных. Решались обратные задачи по определению капиллярной длины и контактного угла смачивания по измеряемым величинам: высоте, диаметру, а также диаметру пятна контакта или площади плоского осевого сечения капли (пузыря). Предлагаемый метод определения капиллярной длины и контактного угла является развитием известного в литературе "Drop Profile Fitting Method" [3]. Основным преимуществом изложенного подхода служат его простота и надежность: профиль капли однозначно строится по трем параметрам, которые можно легко измерить на фотографии капли, а погрешности определения контактного угла и капиллярной длины однозначно вычисляются через известные погрешности измерения параметров капли. Полученные результаты служат основой для развития экспресс-метода измерения поверхностного натяжения и контактного угла по форме капли.

Литература:

1. J. F. Padday. Sessile Drop Profiles: Corrected Methods for Surface Tension and Spreading Coefficients Proc. R. Soc. Lond. A 1972 330, 561-572.

2. Финн Роберт. Равновесные капиллярные поверхности. Математическая теория - М.: Мир, 1989. - 312 с.

3. Zholob S.A., A.V. Makievski, R. Miller, V.B. Fainerman. Optimisation of calculation methods for determination of surface tensions by drop profile analysis tensiometry Advances in Colloid and Interface Science 134-135 (2007) 322-329.

КОНВЕКТИВНЫЕ ТЕЧЕНИЯ ПРИ НАЛИЧИИ НЕОДНОРОДНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПАВ ВБЛИЗИ ГРАНИЦЫ РАЗДЕЛА

А.И. Мизёв, Р.В. Бирих

В докладе представлены результаты экспериментального и теоретического исследования задачи о возникновении и устойчивости конвективного течения, индуцированного локальной неоднородностью распределения поверхностно-активного вещества (ПАВ) вблизи свободной поверхности. Рассмотрены два случая: источника и стока ПАВ. Обнаружено, что в случае источника ПАВ в зависимости от соотношения интенсивностей свободной и концентрационнокапиллярной конвекции Марангони, могут наблюдаться колебательный или стационарный режимы конвекции. Показано, что параметром подобия, определяющим выбор режима конвективного движения в такого типа задачах, является концентрационное динамическое число Бонда, которое можно ввести по аналогии с тепловым случаем. При относительно малых значениях числа Бонда (слабый вклад свободноконвективного механизма по сравнению с концентрационнокапиллярным) в системе наблюдается только колебательный режим конвективного движения. При этом безразмерный период колебаний (по вязкому времени), отнормированный по числу Бонда, оказывается одинаковым для всех использованных в эксперименте ПАВ. По мере увеличения числа Бонда появляется область существования стационарной конвекции, расширяющаяся при дальнейшем увеличении этого управляющего параметра. Экспериментально исследовано развитие конвективного движения при наличии стока ПАВ вблизи границы раздела. Показано, что экспериментально такая ситуация аналогична источнику поверхностно-инактивного вещества (ПИАВ). Обнаружена существенная разница в поведении изучаемой системы для случаев источника и стока поверхностно-активного вещества. В последнем случае ПИАВ не выходит на поверхность (что энергетически не выгодно системе), оставаясь в объеме. Конвекции Марангони при этом не возникает.

Работа выполнена при финансовой поддержке совместного проекта институтов СО, УрО и ДВО РАН № 116 / 09-С-1-1005 и ФЦП (ГК № 14.740.11.0352).

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО ТЕЧЕНИЯ С АДСОРБИРОВАННОЙ ПЛЕНКОЙ

А.И. Мизёв, Д.А. Брацун, А.И. Луцик

Возникновение поверхностных (или капиллярных) течений в жидких системах с межфазной границей обусловлено либо наличием градиента поверхностного натяжения, либо увлечением приповерхностных слоев жидкости объемными течениями за счет вязких сил. Структура таких течений, как правило, легко предсказуема и относительно хорошо моделируется в теоретических и численных исследованиях. Однако существует ряд экспериментальных исследований, в которых структура наблюдавшихся поверхностных течений сильно отличается от теоретически предсказываемой или вытекающей из соображений симметрии задачи. Наиболее вероятной причиной наблюдаемых расхождений является часто неконтролируемое в ходе эксперимента содержание поверхностно-активных примесей, образующих адсорбированную пленку на границе раздела. При этом поверхностные течения развиваются при граничных условиях, отличных от условий на свободной поверхности. Таким образом, интерпретация полученных результатов и планирование новых исследований выводят на первый план дополнительное изучение проблемы для формулировки адекватных граничных условий.

В докладе представлены результаты исследования взаимодействия поверхностного течения концентрационно-капиллярной природы с адсорбированной пленкой нерастворимого ПАВ. Основной проблемой такого рода задач является создание изначально чистой "нулевой" поверхности с контролируемыми и воспроизводимыми характеристиками. В докладе предложены методы решения данной экспериментальной проблемы и представлены результаты предварительных экспериментов. Показано, что, в случае локального источника массы, расположенного на поверхности жидкости, поверхностное течение теряет аксиальную симметрию уже при сравнительно малых поверхностных концентрациях сурфактанта.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (проект 11-01-00524) программы ОЭММПУ РАН № 09-Т-1-1005и ФЦП (ГК № 14.740.11.0352).

ФОРМИРОВАНИЕ ДИФФУЗИОННОЙ ЗОНЫ МЕЖДУ ПОКРЫТИЕМ И ПОДЛОЖКОЙ В УСЛОВИЯХ ИЗОТЕРМИЧЕСКОГО ОТЖИГА ПОД НАГРУЗКОЙ

М.А. Миколайчук, А.Г. Князева

Исследована двумерная задача о насыщении примесью пластины, находящейся в условиях одноосного механического нагружения. Механическая часть задачи сформулирована в рамках гипотезы Бернулли – Эйлера, исходя из которой, поперечной деформацией пренебрегаем, а осевую компоненту перемещений считаем линейной функцией координат в плоскости поперечного сечения образца. Через перемещения выражаются деформации, а через деформации, с использованием определяющих соотношений, напряжения. В качестве определяющих выступают соотношения закона Дюамеля-Неймана для явления массоупругости. В них входит функция изменения объема, зависящая от концентрации примеси. Таким образом, в отсутствии внешней нагрузки напряженно-деформированное состояние пластины определяется концентрационными напряжениями. Записывая условия равновесия для результирующих моментов и сил, получаем систему линейных алгебраических уравнений относительно неизвестных функций входящих в определение осевого перемещения.

Для формулировки диффузионной части задачи проанализированы два возможных механизма влияния напряжений и деформаций на процесс диффузии. Первый имеет своим следствием изменение энергии активации диффузии при деформации кристаллической решетки основы. Связать энергию активации с напряжениями и деформациями, имеющимися в системе, можно при помощи такого понятия, как активационный объем — разность локальных объемов системы в основном и активированном состояниях. В результате работа напряжений, возникающих в локальных объемах, явным образом влияет на величину коэффициента диффузии. Второй механизм влияния заключается в непосредственном переносе примеси под действием напряжений и, по сути, подобен массопереносу посредством бародиффузии в жидкостях.

Работа выполнена в рамках госконтракта № 16.740.11.0122, и при поддержке гранта РФФИ № 10-01-00034.

ОБ ОДНОЙ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИЗАЦИИ ШАРА

А.Б. Моргулис, В.А. Владимиров

Речь пойдет о характеризации шара, возникающей из рассмотрения классической задачи Бьеркнеса об эффекте вибрирующей жидкости на движение погруженного в нее твердого тела. В наших рассмотрениях ситуация предельно упрощена — жидкость считается идеальной, несжимаемой и однородной, а роль вибратора выполняет неподвижный точечный источник пульсирующей интенсивности $\varkappa = \varkappa(t)$ (последняя предполагается заданной). Предполагается, что жидкость заполняет внешность области занятой телом, покоится на бесконечности, и ее поле скорости допускает скалярный потенциал. Указанная система подчиняется принципу наименьшего действия в форме Гамильтона, где конфигурационное пространство $\mathcal{M}$ есть подмногообразие группы движений $\mathbb{R}^3$, сохраняющих ориентацию, а соответствующий лагранжиан записывается в натуральном виде $\mathcal{L} = K + \Lambda - \Pi$, причем K — положительно определенная квадратичная форма относительно скорости, Π зависит только от перемещения тела, и Λ — линейный по скорости член. Это линейное слагаемое естественно определяет 1-форму на конфигурационном пространстве. В явном виде

$$\Lambda = \varkappa(t) \int\limits_{S(t)} G(0, y|t) v_b^n(y, t)\, dS_y,$$

где $S(t) = \partial D^b(t)$, $D^b(t)$ — твердая область, $v_b^n(y, t)$ — проекция скорости тела на нормаль к $S(t)$, направленную от тела к жидкости, $G = G(x, y|t)$ — функция Грина задачи Неймана во внешности $D^b(t)$. Данное представление получено в предположении, что положение источника выбрано за нулевой элемент $\mathbb{R}^3$, что не умаляет общности.

Теорема 1. *Пфаффова форма Λ точна тогда и только тогда, когда погруженное тело есть шар.*

О ЗАДАЧЕ УСТОЙЧИВОСТИ ДЛЯ ЗАТОПЛЕННОЙ СТРУИ

Р.И. Мулляджанов, Н.И. Яворский

Работа посвящена изучению устойчивости осесимметричного стационарного течения несжимаемой вязкой жидкости, которое описано аналитически Слезкиным [1], Ландау [2] и Сквайром [3]. Течение вызвано источником импульса $\tilde{\mathbf{P}}$, который расположен в начале сферической системы координат (R, θ, ϕ). Решение системы отвечает течению затопленной струи и принадлежит коническому классу течений, в котором скорость зависит обратно пропорционально сферическому радиусу R.

В работе проводится линейный анализ устойчивости к осесимметричным возмущениям, которые также рпинадлежат коническому классу течения, что соответствует исследованию устойчивости в бесконечно удаленной точке. В этом случае вектор скорости бесконечно малых возмущений имеет вид $\nu\tilde{\mathbf{f}}(\theta,\xi)/R$, где $\tilde{\mathbf{f}}$ – безразмерный вектор возмущений скорости, ν – кинематическая вязкость жидкости, θ – сферический угол, отсчитываемый от оси симметрии, $\xi = R/\sqrt{4\nu t}$, t – время. Уравнения на возмущения представляют собой систему дифференциальных уравнений в частных проихводных с двумя безразмерными переменными ξ и $x = \cos\theta$. При числе Рейнольдса $Re = \sqrt{\mid \tilde{\mathbf{P}} \mid /\pi\rho\nu^2} = 0$ в уравнениях можно разделить переменные. В этом случае решение, зависящее от переменной x, представляет полиномы Лежандра, а решение для функций на ξ – гипергеометрические функции. Таким образом, аналитически были найдены все собственные функции возмущений линейной задачи устойчивости для конического класса течений в состоянии покоя. При $Re > 0$ задача изучалась в асимптотическом пределе $\xi \to 0$, что соответствует пределу $t \to \infty$, т.е. случаю асимптотической устойчивости. В этом случае зависимость от переменной ξ является степенной – ξ^λ, где λ – спектральный параметр, подлежащий определению при решении обыкновенных дифференциальных уравнений. Движение устойчиво, если $\lambda(Re) > 0$. Исследование показало, что течение, соответствующее решению Слезкина–Ландау–Сквайра , является асимптотически устойчиво к бесконечно малым собственным возмущениям при всех числах Рейнольдса. Этот результат хорошо согласуется с известными опытными данными для дальнего поля затопленной струи [4]. В то же время теоретические исследования устойчивости затопленной струи, учитывающие кривизну линий тока свидетельствуют о потере устойчивости струи при сравнительно малых числах Рейнольдса [5]. В плоскопараллельном приближении затопленная струя устойчива относительно осесимметричных возмущений при всех числах Рейнольдса [6, 7]. Отличие с работой [5] заключается в том, что в ней изучается начальная стадия развития линейных возмущений. В представленной работе показывается, что неустойчивые на начальной стадии развития возмущения с течением времени переходят в затухающие возмущения. Этим свойством обладают собственные решения в виде гипергеометрических функций. Таким образом, превоначально растущие линейные возмущения являются, тем не менее, асимптотически устойивыми.

Литература:

1. Слезкин Н.А. Об одном случае интегрируемости полных дифференциальных уравнений движения вязкой жидкости// Уч. Записки МГУ. 1934. N2. C. 89–90.

2. Ландау Л.Д. Об одном новом точном решении уравнений Навье–Стокса// Докл. АН СССР. 1944. Т. 43. N2. С. 299–301.

3. Squire H.B. The round laminar jet// Quart. J. Appl. Math. 1951. Vol. 4. PP. 321–329.

4. Reynolds A.J. Observations of a liquid–into–liquid jet// J. Fluid Mech. 1962. Vol. 14. PP. 552–556.

5. Shtern V., Hussain F. Effect of deceleration on jet instability// J. Fluid Mech. 2003. Vol. 480. PP. 283–309.

6. Batchelor G.K., Gill A.E. Analysis of the instability of axisymmetric jets// J. Fluid Mech. 1962. Vol. 14. PP. 529–551.

7. Morris P.J. The spatial viscous instability of axisymmetric jets// J. Fluid Mech. 1976. Vol. 77. PP. 511–529.

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ИСПАРЕНИЯ КАПЕЛЬ ВОДЫ И ВОДНО-СПИРТОВЫХ СМЕСЕЙ НА ПОВЕРХНОСТИ НАГРЕВА

В.Е. Накоряков, С.Я. Мисюра

Для изучения динамики испарения капель была разработана новая экспериментальная методика - измерение текущей массы капли с применением электронных весов. Температура стенки измерялась термопарой, температура поверхности капли определялась тепловизором. Измерения проводились в диапазоне температур стенки 80-250°С на участках из разного материала (медь, алюминий, нержавеющая сталь, напыление из золота), менялась шероховатость поверхности и толщина нагреваемой стенки (0,001-0,02м). Капли получались с применением дозаторов "Ленпипет" в интервале объёмов 2-100мкл. Ранее влияние различных факторов на испарение наиболее полно изучено только для больших объёмов воды, исследовано кипение капли одного размера в широком температурном диапазоне [1].

Установлено, что характер испарения капли зависит от её формы (объёма) и носит нелинейный характер. Критические температуры кипения Ткр1 (начало прекращения пузырькового кипения) и Ткр2 (устойчивое плёночное кипение) практически не зависят от размеров капли. На критические температуры и на отношение Ткр2/Ткр1 существенно влияют состояние поверхности (оксидная плёнка, шероховатость), температуропроводность материала и толщина стенки. На тонких стенках при изменение объёма капли наблюдались при одинаковой Тст различные режимы испарения - без кипения, пузырьковое кипение и плёночный режим. При уменьшении толщины стенки менее 0,01м, применения материала с повышенным тепловым сопротивлением и повышенной шероховатостью поверхности - существенно сдвигается кризис теплообмена капли. Измерения температуры стенки вблизи капли показали наличие зоны охлаждения до 5°С. С целью исключения оксидной плёнки и минимизации влияния шероховатости, эксперименты проведены на медном полированном участке с напылением золота. Характер кипения капли на данной полированной стенке существенно отличается от испарения на шероховатой поверхности. В работе измерены плотности теплового потока капли и коэффициенты теплоотдачи при постоянной Тст. При пузырьковом кипении время испарения капли на полированной поверхности увеличилось в 5-6 раз - коэффициент теплоотдачи, соответственно, уменьшается в несколько раз. На заключительной стадии испарения при уменьшении поверхности капли наблюдаются капиллярные волны и уменьшение температуры верхней межфазной поверхности на 5-7°С. Измерения с помощью тепловизора выявили значительную неизотермичность, трёхмерность и осевую несимметричность температурного поля капли, а также недогрев воды, который может достигать 30°С. Столь существенный недогрев меняет характер роста пузырька и его разрушение по сравнению с большим объёмом воды. При кипении капель водного раствора этилового спирта наблюдается затягивание кризиса кипения, значительно увеличивается переходная область.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта №11.G34.31.0003 (ведущий учёный Т. И. Сигфуссон, ТПУ).

Литература:

1. Боришанский В.М. // Вопросы теплообмена при изменении агрегатного состояния вещества. М. Л., 1953. С. 118-155.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ИЗВЛЕЧЕНИЯ НЕФТИ ПРИ ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЯХ (ПИРОЛИЗЕ КЕРОГЕНА) ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ТЕПЛА

С.В. Осипов

В работе представлена математическая модель технологий извлечения нефти из сверхнизкопроницаемых коллекторов путем нагрева пласта, содержащего нефтематеринскую органику (кероген). При повышении температуры инициируется процесс превращения твердой нефтематеринской органики в жидкую фазу, нефть, что дает возможность значительно повышать нефтеотдачу.

Сопутствующим процессом является рост давления и увеличение общей трещинноватости коллектора, что также оказывает положительное влияние на коэффициент извлечения нефти.

Разработаны алгоритмы расчета следующих физических процессов:

– пиролиза керогена в связанном состоянии в пористой среде

– развития трещиноватости в приближении мгновенной кинетики

– фильтрации нефти при переменной пористости и проницаемости и наличии химических превращений.

Показана эффективность и даны количественные оценки применения тепловых методов разработки месторождений глинисто-кремнистых отложений.

МЕТОД ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ ПРИБЛИЖЕНИЙ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ О РАСПАДЕ РАЗРЫВА МАЛОЙ АМПЛИТУДЫ

В.В. Остапенко, П.Е. Карабут

Задача о распаде разрыва для гиперболических систем законов сохранения [1] является одной из наиболее распространенных при получении и качественном анализе автомодельных обобщенных решений. В настоящей работе предлагается метод последовательных приближений для построения решения задачи о распаде разрыва малой амплитуды. В линейном приближении этого метода получается задачи Коши для линейной гиперболической системы. Ее решение представляет собой линии разрыва, разделенные областями, в которых решение является постоянным. Основное внимание уделяется первому и второму приближениям этого метода, в рамках которых разрывы, получаемые в линейном приближении, разделяются на устойчивые ударные волны и волны разрежения. В качестве конкретного примера проведен анализ качественно различных режимов течения, возникающих при решении задачи о разрушении плотины для модели двухслойной мелкой воды со свободной границей [2].

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (коды проектов 09-01-98001, 10-01-00338) и проектов фундаментальных исследований Президиума РАН № 4.7 и Президиума СО РАН № 23.

Литература:

1. Lax P. D. Hyperbolic systems of conservation laws and the mathematical theory of shock waves. Philadelphia: Soc. Industr. and Appl. Math., 1972.

2. Овсянников Л. В. Модели двухслойной мелкой воды // Приклад. математика и техн. физика. 1979. № 2. С. 3–13.

О РЕАЛЬНОЙ ТОЧНОСТИ РАЗНОСТНЫХ СХЕМ СКВОЗНОГО СЧЕТА

В.В. Остапенко, О.А. Ковыркина

Изучается сходимость разностных схем повышенной точности при сквозном расчете ударных волн. Введено понятие слабой конечно-разностной аппроксимации, которая сохраняет смысл на разрывных решениях [1]. Показано, что среди явных двухслойных по времени консервативных разностных схем не существует схем имеющих повышенный порядок слабой аппроксимации. Построена компактная схема, имеющая третий порядок как классической, так и слабой аппроксимации [2]. Показано, что эта схема имеет существенные преимущества по сравнению с TVD схемой Хартена при сквозном расчете ударных волн. Исследована разностная аппроксимация ε-условий Гюгонио [3]. Показано, что TVD схемы (в отличие от немонотонных схем, имеющих гладкие функции численных потоков) аппроксимируют ε-условия Гюгонио не выше, чем с первым порядком. Приведены примеры показывающие, что немонотонные схемы (в отличие от монотонных TVD схем) могут иметь второй порядок интегральной сходимости через размазанные фронты ударных волн и, как результат, сохранять повышенную точность в областях их влияния [4].

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (коды проектов 09-01-00569, 09-01-98001, 10-01-00338) и проектов фундаментальных исследований Президиума РАН № 4.7 и Президиума СО РАН № 23.

Литература:

1. Остапенко В.В. Аппроксимация законов сохранения разностными схемами сквозного счета // ДАН СССР, 1990, т. 313, № 6.

2. Остапенко В.В. О построении разностных схем повышенной точности для сквозного расчета нестационарных ударных волн // Ж. выч. матем и матем. физ., 2000, т. 40, № 12.

3. Остапенко В.В. О конечно-разностной аппроксимации условий Гюгонио на фронте ударной волны, распространяющейся с переменной скоростью. // Ж. выч. матем. и матем физ., 1998, т. 38, № 8.

4. Ковыркина О.А., Остапенко В.В. О сходимости разностных схем сквозного счета // Докл. РАН, 2010, т. 433, № 5.

ФИЛЬТРАЦИЯ СЖИМАЕМОЙ ЖИДКОСТИ В ВЯЗКОУПРУГОЙ ГОРНОЙ ПОРОДЕ

А.А. Папин, М.А. Токарева

Изотермическое движение сжимаемой жидкости в деформируемой пористой среде описывается следующей системой уравнений [1,2]:

$$\frac{\partial(\rho_f\phi)}{\partial t} + div(\rho_f\phi\vec{v}_f) = 0, \quad \frac{\partial(\rho_s(1-\phi))}{\partial t} + div(\rho_s(1-\phi)\vec{v}_s) = 0,$$

$$\phi(\vec{v}_s - \vec{v}_f) = k(\phi)(\nabla p_f + \rho_f\vec{g}), \quad \frac{1}{1-\phi}\frac{d\phi}{dt} = -a_1(\phi)p_e - a_2(\phi)\frac{dp_e}{dt},$$

$$p_e = (1-\phi)(p_s - p_f), \quad \phi p_f + (1-\phi)p_s = p_{tot}(x,t).$$

Здесь $\phi, \rho_f, \rho_s = const, \vec{v}_f, \vec{v}_s, p_f = p_f(\rho_f), p_s$ – соответственно пористость, истинные плотности, скорости и давления жидкости и пористой среды; $\vec{g}$ – плотность массовых сил; p_e – эффективное давление; $k(\phi)$ – проницаемость; $a_1(\phi)$, $a_2(\phi)$ – параметры горной породы; $d/dt = (\partial/\partial t + \vec{v}_s \cdot \nabla)$. В докладе излагаются результаты о разрешимости начально-краевых задач [3].

Работа выполнена при финансовой поддержке аналитической ведомственной целевой программы "Развитие научного потенциала высшей школы (2009-2011 годы)" и федеральной целевой программы "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России" на 2009–2013 годы.

Литература:

1. Бэр Я., Заславски Д., Ирмей С., Физико-математические основы фильтрации воды. - Москва: Мир, 1971. - 452 с.

2. Connolly J.A.D., Podladchikov Yu. Yu., Compaction-driven fluid flow in viscoelastic rock// Geodinamica Acta, 1998, Vol. 11, N 2-3, P. 55-84.

3.Папин А.А., Токарева М.А., Модельная задача о движении сжимаемой жидкости в вязкоупругой горной породе// Известия АлтГУ, вып.1(59), с. 35-37.

ДЛИННОВОЛНОВАЯ НЕУСТОЙЧИВОСТЬ СТЕКАНИЯ ПЛЕНКИ НЕЛИНЕЙНО-ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТИ

А.В. Перминов

Исследуется стекание пленки жидкости Уильямсона по наклонной твердой поверхности. Реологическое уравнение Уильямсона при определенном выборе реологических параметров допускает описание вязкопластичных жидкостей, при течении которых образуются квазитвердые области в тех местах, где вязкие напряжения меньше чем пороговое напряжение τ_0. В стекающей пленке квазитвердая зона образуется вблизи свободной поверхности. В ньютоновской жидкости [1] стационарное течение пленки становится неустойчивым по отношению к плоским длинноволновым возмущениям для чисел Рейнольдса $\mathrm{Re} > 1.25\mathrm{tg}\alpha$, где α - угол между вертикалью и плоскостью ($\alpha = 0$ соответствует вертикальному слою). Для реологической модели Уильямсона возможен предельный переход к ньютоновской модели, при котором указанное выше соотношение выполняется.

Если для вязкопластичной жидкости параметр $G \leq 1$, то вся пленка находится в устойчивом квазитвердом состоянии ($G = \rho g h / A$, где ρ - плотность жидкости, g - ускорение свободного падения, h - толщина пленки, для вязкопластика $A = \tau_0$). Увеличение поля тяжести приводит к сдвиговому течению, которое быстро становится неустойчивым по отношению к длинноволновым колебательным возмущениям свободной поверхности. Течение вязкопластичной жидкости может вновь стать устойчивым, когда гравитационный параметр $G > 6.5$. Увеличение угла наклона значительно стабилизирует движение жидкости для $G < 6.5$ и дестабилизирует при больших значениях G.

При движении псевдопластичной жидкости квазитвердая зона не образуется. Существует критическое значение гравитационного параметра, при достижении которого течение в пленке становится абсолютно неустойчивым. Это значение равно нулю для вертикального слоя и стремится к бесконечности для слоя горизонтального.

Литература:

1. Yih Chia-Shun. Stability of liquid flow down an inclined plane// Phys. Fluids. 1963. vol. 6. № 3.

МЕХАНИЗМЫ СЛИЯНИЯ И ДРОБЛЕНИЯ ПУЛЬСИРУЮЩИХ В ЖИДКОСТИ ГАЗОВЫХ ПУЗЫРЬКОВ

А.Г. Петров

Как известно, на две пульсирующие в одной фазе сферы действует сила притяжения Бьеркнеса. Однако эксперименты показывают, что пульсирующие пузырьки не всегда сливаются друг с другом. Для теоретического вывода условий слияния пузырьков рассматриваются вынужденные нелинейные колебания двух сферических пузырей, движущихся в непосредственной близости друг от друга под действием внешнего периодического поля давлений. Показано, что в результате нелинейного взаимодействия силы вязкости с радиальными колебаниями пузырьков вырабатывается квадратичная по вязкости и амплитуде колебаний сила отталкивания, которая останавливает сближение пузырьков [1]. Полученное отсюда условие слияния качественно подтверждается экспериментами [2].

Для колебаний одиночного пузырька в результате нелинейного взаимодействия радиальной и деформационной мод при их резонансе энергия радиальных колебаний переходит в энергию деформационных колебаний. Амплитуда деформационной моды с номером n превосходит амплитуду радиальной моды в $3n$ раз [3]. Этот эффект качественно объясняет эксперименты по дроблению пульсирующих пузырьков в жидкости [4].

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ 11-01-0053.

Литература:

1. Петров А.Г. Доклады АН. 2010. Т. 434. № 5. С. 631-635.

2. Бошенятов Б.В. Доклады АН. 2009. Т. 427, № 3. С. 321-323.

3. Вановский В.В., Петров А.Г. Доклады АН. 2011. Т. 437. № 3.

4. Нигматулин Р.И. Динамика многофазных сред. Т1. М.: Наука. 1987. 464 с.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ ПАРАФИНИРОВАННОЙ НЕФТИ В ПОДВОДНОМ ТРУБОПРОВОДЕ

А.Г. Петрова, А.А. Коробкин

Часть нефтепроводов пролегает по дну морей с достаточно низкой температурой воды. Закачиваемая в трубопровод нефть содержит растворенные парафины. Понижение температуры приводит к сегрегации фаз в области, где температура ниже WAT (wax appearing temperature). При этом часть парафинов оседает на стенках труб в виде геля, который подвержен старению и теряет подвижность при температуре ниже PP (pour point). Если не проводить какую-либо очистку, возможна полная закупорке трубы.

Проводится анализ различных подходов к математическому моделированию физических процессов, основными из которых являются: тепломассоперенос в аксиальном направлении, основной вклад в который вносят течение жидкой нефти, нагнетаемой в трубу и отложения на стенках; радиальная теплопередача, вызванная разностью температур жидкости и стенки трубы; отложение неподвижного депозита на стенках при температуре, ниже PP; сегрегация фаз, образование и рост зародышей твердого парафина при температуре между WAT и PP , когда раствор парафинов насыщенный; процесс гелизации; изменение поля скоростей (пуазейлевского на входе) вследствие изменения геометрии из-за отложений на стенках, а также меняющихся свойства среды; старение парафинов вследствие диффузии; вибрация трубы.

Рассматривается проблема многих масштабов общей модели и предлагается подход, основанный на выделении двух масштабов времени: "быстрого" обусловленного аксиальным переносом и "медленного" времени теплопроводности и молекулярной диффузии. Формулируются и исследуются задачи нулевого и первого приближения по малому параметру, связанному с обратным характерным временем диффузионных процессов.

РАСЧЕТ ДВИЖЕНИЯ КАПЛИ В ПЛАСТИЧЕСКОЙ СРЕДЕ

Ю.В. Пивоваров

В работе [1] было осуществлено наблюдение за поведением капель различных масел, находящихся в равноплотном спиртово-водном растворе (матрице), и обнаружено, что если две капли находятся на расстоянии порядка их размеров, то независимо от масштаба системы происходит их медленное взаимное сближение.

В настоящей работе обоснован подход, согласно которому полная сила, действующая на каплю, вычисляется по формуле:

$$G_z = \xi(z)F_{z1} + (1 - \xi(z))G_{z1} + G_{z2},$$

где F_{z1} — составляющая силы, обусловленная нормальными напряжениями в состоянии покоя, G_{z1} и G_{z2} — составляющие силы, обусловленные нормальными и касательными напряжениями при гидродинамическом течении вокруг капли, $\xi(z)$ — линейно убывающая весовая функция расстояния z, пройденного каплей, принимающая значения от единицы до нуля, и обращающаяся в ноль при $z \geq \Delta z$. Она означает долю не разрушенных молекулярных связей в матрице, благодаря которым последняя приобрела свойства твердого тела. Матрица считается средой Бингама. Капля движется циклически со средней скоростью порядка 10^{-6}м/с и временем цикла порядка 10^{-2}с. Гидродинамическое влияние второй капли не учитывается.

При проведении расчетов были найдены оптимальные параметры: отношение модулей сдвига капли и матрицы $G_1/G_2 = 4$, предел текучести $k_0 = 10^{-4}$Па и $\Delta z = 4 \cdot 10^{-10}$м. При этих параметрах экспериментальная и расчетная зависимости средней скорости капли от времени отличаются только на заключительном этапе сближения, что можно объяснить не учетом гидродинамического влияния второй капли.

Работа выполнена при финансовой поддержке программы 14.3 Отделения энергетики, машиностроения, механики и процессов управления РАН.

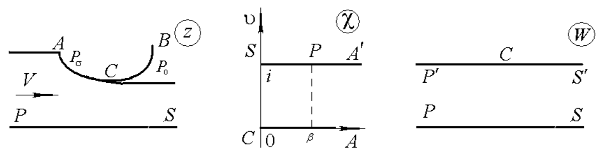
Литература:

1. Стебновский С.В. Термодинамическая неустойчивость дисперсных сред, изолированных от внешних воздействий// ПМТФ. 1999. Т. 40. N3. С. 53–58.

ФОРМООБРАЗОВАНИЕ МЯГКОЙ ОБОЛОЧКИ ПРИ ОБТЕКАНИИ ВБЛИЗИ ЭКРАНА

М.Ю. Подымова, М.А. Тимофеева

В данной задаче жидкость считается идеальной, несжимаемой и невесомой. Происходит обтекание мягкой оболочки с двумя закрепленными точками A и B. В точке C происходит отрыв потока. PS – экран, P_σ, P_0– давления внутри оболочки и в окружающей среде.



Воспользуемся уравнением Бернулли $P+\rho V^2/2 = P^*$. На свободной границе *CS'* $P = P_0$, $V = V_0$. Пусть P_σ – давление внутри оболочки, P_∞, V_∞ – давление и скорость слева на бесконечности, P^* – константа Бернулли, ρ – плотность жидкости. На поверхности оболочки должно выполняться условие Лапласа $T = R\left(P_\sigma - P\right) = const$, где R– радиус кривизны оболочки.

На плоскости комплексного потенциала W областью, соответствующей течению является полоса. Для решения задачи используем параметрическую плоскость χ в виде полуполосы. Отображение χ на W

$$W = iQ + \frac{Q}{\pi}\left[\ln\left(ch^{-2}\pi\chi/2 + sh^{-2}\pi\beta/2\right) - \ln\left(1 + sh^{-2}\pi\beta/2\right)\right].$$

Участок оболочки CB представляет дугу окружности радиуса $R_0 = 2T/\left(\rho V_\infty^2\right)$. Задача сводится к определению функции Жуковского, действительная часть которой равна нулю на PA и PS и удовлетворяет условию Лапласа на AC. Функция, отображающая плоскость χ на физическую, ищется в виде $\omega\left(\chi\right) = \omega_0\left(\chi\right) + \omega_\Delta\left(\chi\right)$. Функция $\omega_0\left(\chi\right) = i\theta_A\chi + \theta_A$ конформно отображает полосу плоскости χ на полосу плоскости ω.

В результате были получены формы оболочки при различных значениях геометрических и физических параметров.

ЛЯПУНОВСКАЯ И СТРУКТУРНАЯ НЕУСТОЙЧИВОСТИ В ЗАДАЧАХ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ

Г.М. Полетаев, А.М. Сагалаков, П.С. Стенченко

С позиции теории динамических систем рассматривается моделирование методом молекулярной динамики процесса сверхбыстрого охлаждения жидких металлов. Моделировалось образование аморфных никеля, меди и алюминия. Взаимодействие атомов моделировалось с помощью парного потенциала Морза. Расчеты показывают, что структурный хаос в жидком состоянии в значительной степени наследуется в твердом аморфном состоянии. Установлено, что наряду с ляпуновской необходимо учитывать и структурную неустойчивость. Рассматриваемая совокупность атомов является структурно неустойчивой по Понтрягину. В силу действия указанных неустойчивостей конкретная атомная структура аморфных металлов принципиально невоспроизводима как на уровне модели, так и в реальном эксперименте. Рассмотрены гидродинамические аналогии.

О МОДЕЛИРОВАНИИ РУСЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В РЕКАХ С ПЕСЧАНЫМ ДНОМ

И.И. Потапов

В работе в рамках плановой русловой задачи проведено математическое моделирование гидродинамических и русловых процессов реки Амур в окрестности г. Хабаровска. Гидродинамическая часть задачи сформулирована в рамках планового уравнения мелкой воды, задача переформирования русла реки сформулирована с использованием оригинального уравнения русловых деформаций построенного на основе семейства русловых моделей [1,2], не содержащих в себе феноменологических параметров. Для предложенной математической модели с использованием метода конечных элементов разработан метод расчета гидродинамических и русловых процессов. Численно исследован процесс отступления берегового склона реки Амур в области слияния ее с Амурской протокой, проведено сравнение полученных результатов с натурными данными.

Работа выполнена в рамках ФЦП "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России", госконтракт № 02.740.11.0626.

Литература:

1. Петров А.Г., Петров П.Г. Вектор расхода наносов в турбулентном потоке над размываемым дном // ПМТФ 2000. Т. 41. № 2. С. 102–112.

2. Петров А.Г., Потапов И.И. О развитии возмущений песчаного дна канала // ДАН, 2010. Т. 431, № 2, С. 191–195.

О ВОЗНИКНОВЕНИИ ВИБРАЦИОННОЙ КОНВЕКЦИИ В СЛОЕ СО СВОБОДНОЙ НЕДЕФОРМИРУЮЩЕЙСЯ ПОВЕРХНОСТЬЮ

О.А. Прозоров

Изучается вибрационная конвекция в горизонтальном слое слабо неизотермической жидкости со свободной границей, которая не деформируется либо в среднем, либо в целом. В каждом из этих двух случаев выводятся осредненные уравнения по аналогии с [1], находится квазиравновесный режим и исследуется его устойчивость — монотонная и колебательная. Исследуется поведение нейтральных кривых в зависимости от вибрационных параметров. Построена длинноволновая асимптотика. При исследовании колебательной неустойчивости основное внимание уделено нагреву сверху, когда число Рэлея отрицательно, приведено сравнение с [2], где обнаружены внутренние и поверхностные волны. Приводится сравнение результатов для двух моделей, соответствующих поведению свободной границы.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 09-01-00658-а.

Литература:

1. Зеньковская С.М., Шлейкель А.Л. Влияние высокочастотной вибрации на возникновение конвекции Марангони в горизонтальном слое жидкости // ПММ. 2002. Т. 66. вып.4, с. 573-583.

2. A. Ye. Rednikov, P. Colinet, M. G. Velarde and J., C. Legros. Rayleigh-Marangoni oscillatory instability in a horizontal liquid layer heated

from above: coupling and mode mixing of internal and surface dilational waves. //Journal of Fluid Mechanics (2000), 405:pp. 57-77.

О РЕШЕНИИ ЛИНЕЙНЫХ ЗАДАЧ УСТОЙЧИВОСТИ НЕПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ТЕЧЕНИЙ

А.В. Проскурин, А.М.Сагалаков

Авторами рассмотрен численный метод решения задач устойчивости непараллельных течений в канале по отношению к малым возмущениям. Теория гидродинамической устойчивостив этом случае сводит линеаризованную систему уравнений Навье-Стокса к краевой задаче на собственные значения для систем дифференциальных уравнений в частных производных. Возмущение стационарного течения согласно [1] представим в виде

$$\psi = v(x, y) \exp^{iCt},$$

где ψ – функция тока, v – амплитуда, x, y – координаты, C – комплексная фазовая скорость. Малое возмущение можно разложить по полиномам Чебышева $\psi = \sum a_{ij} T_i(x) T_j(y)$. Задав некоторое множество точек коллокации, получим алгебраическую задачу на собственные значения, которая решалась стандартным алгоритмом из $LAPACK$.

Вычислительный эксперимент показал, что с помощью современных персональных компьютеров можно решать такие задачи устойчивости при числах Рейнольдса порядка 10^3, требуемый для этого объем памяти зависит от точности вычислений и оптимизации алгоритма, но все равно измеряется гигабайтами. Увеличение числа Рейнольдса требует увеличения количества членов разложения N, при этом объем необходимой памяти растет как N^4.

Работа выполнена при финансовой поддержке федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России», контракт 14.740.11.0355.

Литература:

1. Theofilis V. Advances in global linear instability analysis of nonparallel flow and three-dimensional flows// Progress in Aerospace Sciences. 2003. 39. P. 249-315.

УСТОЙЧИВОСТЬ ПЛОСКОГО ТЕЧЕНИЯ ПУАЗЕЙЛЯ В ПРОДОЛЬНОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ

А.В. Проскурин, А.М. Сагалаков

В работе исследуется устойчивость к малым возмущениям плоского течения электропроводящей вязкой жидкости при наличии продольного магнитного поля и больших числах Рейнольдса. Рассмотрена полная линеаризованная система уравнений магнитной гидродинамики. Данная задача является классической, однако она трудна для исследования: до сих пор отсутствуют простые и эффективные методы исследования неустойчивости Толлмина-Шлихтинга в линейном приближении при больших числах Рейнольдса и немалых магнитных числах Прандтля. Эффективное решение задач гидродинамической устойчивости возможно только численно и требует использования специальных методов [1,2].

Подробно исследовались зависимости критических чисел Рейнольдса от электропроводности. При исследованиях использовались метод коллокаций и метод дифференциальной прогонки [1,2]. Обнаружена новая ветвь неустойчивости при больших числах Рейнольдса и скачкообразное изменение критических чисел Рейнольдса.

Работа выполнена при финансовой поддержке федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России», контракт 14.740.11.0355.

Литература::

1. Проскурин А.В., Сагалаков А.М Новая ветвь неустойчивости магнитогидродинамического течения Пуазейля в продольном магнитном поле// Письма в журнал технической физики. - 2008. - Т.34. - №5. - С.40-45.

2. Проскурин А.В., Сагалаков А.М Устойчивость течения Пуазейля при наличии продольного магнитного поля// Прикладная механика и техническая физика. 2008. Т.49. №3. С. 45-43.

ТОЧНЫЕ РЕШЕНИЯ УРАВНЕНИЙ ТЕРМОКАПИЛЛЯРНОЙ КОНВЕКЦИИ

В.В. Пухначёв

В докладе рассматриваются точные решения уравнений Навье-Стокса и теплопроводности, удовлетворяющие условиям на свободной поверхности, на которой действует термокапиллярный эффект. Известные примеры таких решений (Бирих, 1966; Наполитано, 1980) обнаруживают теоретико-групповую природу. Систематический поиск точных решений уравнений термокапиллярной конвекции основан на теореме об инвариантности условий на априори неизвестной свободной границе (Пухначёв, 1972; Андреев и Пухначёв, 1983). Построенные решения описывают конвективное течение двухслойной жидкости во вращающейся трубе под действием продольного градиента температуры (Бирих и Пухначёв, 2011), равновесие вертикальной неизотермической пленки жидкости в поле тяжести (Бурмистрова, 2011) и деформацию вязкого слоя термокапиллярными силами в условиях невесомости (Пухначёв, 2002; Кузнецов и Пухначёв, 2009). В последнем случае описаны сценарии разрушения решения начально-краевой задачи за конечное время.

Работа поддержана грантами СО РАН № 116-2009 и РФФИ № 10-01-00007, а также ФЦП "Кадры"(контракт № 14.740.11-0355).

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ЛЬДИСТЫХ БЕРЕГОВ ДЕЛЬТЫ р. ЛЕНЫ В НЕСТАЦИОНАРНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

С.О. Разумов, М.Н. Григорьев

На многих участках морского края и в протоках дельты р. Лены наблюдается активное разрушение берегов, сложенных дисперсными льдистыми породами. Их динамика связана с изменениями гидрологических и климатических характеристик: средней летней температуры воздуха t_a, положения границы дрейфующих льдов x, продолжительности безледного времени k_b, ветро-волнового режима в прибрежных районах акватории (суммы горизонтальных частей приливных и нутационных сил f_Σ, средней штормовой скорости ветра u) и гидрологического режима в приустьевой области реки. Кроме того, темпы разрушения берегов зависят от мерзлотных и морфометрических характеристик берегов и подводного берегового склона (льдистости L и температуры пород t_p, высоты клифов h и глубин моря z на линии разгона волн).

В Институте мерзлотоведения СО РАН разработана физико-математическая модель динамики льдистых берегов в нестационарных климатических условиях, которая учитывает перечисленные влияющие факторы, изменения темпов береговых криогенных процессов во времени τ и имеет прогностический выход:

$$v_e(\tau) = \varphi(t_p, L, h) \cdot \psi(\tau, k_b, t_a, x, u, z, f_\Sigma).$$

Первая функция (сомножитель) в правой части описывает сопротивление берегов внешним воздействиям, вторая — абразионную активность акватории, т.е. ее способность разрушать берега.

О ТЕРМОКАПИЛЛЯРНОЙ НЕУСТОЙЧИВОСТИ В ЖИДКОМ ЦИЛИНДРЕ

И.И. Рыжков

Исследование динамики систем с границами раздела вида жидкость–газ является одной из сложных проблем механики сплошной среды. Термокапиллярные течения, возникающие на границе раздела за счет градиентов поверхностного натяжения, вызванных неоднородностями температуры, могут оказывать существенное влияние на движение жидкости в объеме. Термокапиллярный эффект существенно влияет на процесс роста кристаллов методом зонной плавки. Для изучения процессов в зоне расплава часто используется модель *жидкого моста*. В этой модели объем жидкости помещен между двумя цилиндрическими стержнями, которые имеют общую ось и расположены на некотором расстоянии друг от друга. Разность температур между стержнями приводит к возникновению градиента поверхностного натяжения на свободной границе, который вызывает термокапиллярное движение жидкости. При небольших разностях температур движение стационарное, однако с ростом разности температур оно становится неустойчивым. Неустойчивость связана с появлением гидротепловых волн (характеризуемых азимутальным волновым числом m). Подобная неустойчивость в зоне расплава приводит к ухудшению качества кристалла в методе зонной плавки.

Точное решение, описывающее стационарное термокапиллярное течение в жидком мосте (цилиндре) было получено в работе [1]. Линейный анализ устойчивости этого течения был проведен в [2]. Предполагалось, что свободная граница является недеформируемой, а теплообмен через границу характеризуется числом Био. Были определены критические числа Марангони Ma для мод $m = 0$ и $m = 1$. Показано, что критическое число Марангони растет с увеличением числа Прандтля Pr. При $\mathrm{Pr} < \mathrm{Pr}^*$ критической модой является $m = 1$, в то время как для $\mathrm{Pr} > \mathrm{Pr}^*$ критическая мода есть $m = 0$. Значение Pr^* зависит от числа Био. Данные результаты хорошо известны в теории жидких мостов и соответствующие работы [1,2] часто цитируются в литературе.

В данной работе линейный анализ устойчивости стационарного течения в бесконечном жидком цилиндре существенно пересмотрен. Результаты работы [2] для моды $m = 1$ подтверждены в области малых чисел Прандтля. В то же время показано, что для больших чисел Прандтля граница устойчивости в плоскости $(\mathrm{Pr}, \mathrm{Ma})$ лежит ниже, чем это было установлено ранее. Обнаружено, что нейтральные кривые в плоскости (k, Ma) имеют два локальных минимума (здесь k – осевое волновое число). Один из этих минимумов был известен ранее, однако глобальный минимум определен в данной работе впервые. Установлено, что полученные результаты гораздо лучше согласуются с экспериментом [3], чем данные работы [2]. В отличие от последней, было показано, что мода $m = 1$ всегда является критической. Таким образом, смена критической моды с $m = 1$ на $m = 0$ с ростом числа Прандтля не происходит.

Работа выполнена при финансовой поддержке Интеграционного проекта СО РАН № 116 и гранта РФФИ № 11-01- 00283.

Литература:

1. Xu J.J. and Davis S.H. Liquid bridges with thermocapillarity // Phys. Fluids. 1983. V. 26. №10. p. 2880–2886.

2. Xu J.J. and Davis S.H. Convective thermocapillary instabilities in liquid bridges // Phys. Fluids. 1984. V. 27. №10. p. 1102–1107.

3. Schwabe D. Hydrothermal waves n a liquid bridge with aspect ratio near the Rayleigh limit under microgravity // Phys. Fluids. 2005. V. 17, 112104.

СЛАБОНЕЛИНЕЙНЫЙ АНАЛИЗ КОЛЕБАТЕЛЬНОЙ НЕУСТОЙЧИВОСТИ ПЛОСКОГО СЛОЯ ЖИДКОСТИ С ДЕФОРМИРУЕМОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

А.Е. Самойлова

Численно исследуется устойчивость плоского слоя неоднородно нагретой жидкости со свободной деформируемой поверхностью. Для корректного учета деформационных мод неустойчивости при одновременном учете плавучести используется модель, предложенная Д.В. Любимовым в [1]. При этом жидкость считается изотермически несжимаемой, а зависимость плотности от температуры учитывается везде в уравнении Навье-Стокса, в уравнении непрерывности и в граничных условиях, а не только в подъемной силе. Предполагается экспоненциальный вид уравнения состояния. Рассматриваются двумерные возмущения с произвольной длиной волны.

При исследовании линейной устойчивости данной системы было обнаружено существование колебательной моды неустойчивости при нулевом значении числа Марангони в случае невесомости при нагреве со стороны свободной поверхности.

Слабонелинейный анализ показал наличие области мягкого возбуждения данной неустойчивости. Обнаружено, что в зависимости от значений параметров задачи неустойчивость возбуждается в виде бегущей или стоячей волны.

Литература:

1. Lyubimov D.V., Lyubimova T.P., Alexander Iwan J.D. and Lobov N.I. On the Boussinesq approximation for fluid systems with deformable interfaces // Adv. Space Res. 1998. V. 22. N 8. P. 1159-1168.

О СОВМЕСТНОМ ДВИЖЕНИИ БИНАРНОЙ СМЕСИ И ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТИ В ТЕПЛОИЗОЛИРОВАННОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ТРУБЕ

Н.Л. Собачкина

Изучается инвариантное решение задачи о совместном движении бинарной смеси и вязкой теплопроводной жидкости в теплоизолированной цилиндрической трубе, которое происходит под действием продольного градиента давления в смеси. Вязкая жидкость (смазка) и смесь не смешиваются и имеют общую поверхность раздела. Задача сводится к сопряженной начально-краевой задаче для параболических уравнений. Найдено стационарное решение задачи и доказано, что оно является предельным при $t \to \infty$, если градиент давления стабилизируется по времени на бесконечности. В изображениях по Лапласу получено точное аналитическое решение [1].

Далее предполагается, что под действием градиента давления происходит движение цилиндрической струи бинарной смеси в неограниченной жидкости. Показывается, что течение не является предельным при $t \to \infty$, так как здесь нет тормозящего влияния твердой стенки. Таким образом, происходит эволюция затопленной струи бинарной смеси под действием перепада давления. Он же порождает нестационарное движение и окружающей жидкости.

Даются примеры численного восстановления полей скоростей, температур и концентрации в зависимости от геометрических и физических параметров смеси и жидкости. Численные расчеты подтверждают теоретические выводы [2].

Работа поддержана интеграционным проектом СО РАН № 65.

Литература:

1. Собачкина Н.Л. О совместном движении бинарной смеси и вязкой жидкости в теплоизолированной цилиндрической трубе // Вычислительные технологии. Новосибирск, 2011. Т. 16, № 3. 14 с.

2. Андреев В.К., Собачкина Н.Л. О движении затопленной струи бинарной смеси в вязкой жидкости // J. of Siberian Federal University. Mathematics and Physics. Красноярск, 2011. 14 с. (в печати).

ОБ УСТОЙЧИВОСТИ ЖИДКОСТИ, РАВНОМЕРНО ВРАЩАЮЩЕЙСЯ В СЛАБОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ

В.А. Солонников

Рассматривается эволюция изолированной массы вязкой несжимаемой капиллярной проводящей жидкости вблизи режима равномерного жесткого вращения при наличии слабого магнитного поля. Доказано, что наличие магнитного поля не влияет на устойчивость указанного режима: если функционал потенциальной энергии имеет положительно определенную вторую вариацию, а начальное значение магнитного поля достаточно мало, то вращение экспоненциально устойчиво.

УДАР ЯЩИКА ПО ТОНКОМУ СЛОЮ ЖИДКОСТИ ПОД МАЛЫМ УГЛОМ

Л.А. Ткачева

Решается задача об ударе ящика по тонкому слою жидкости под малым углом в плоской постановке. Ящик падает вертикально вниз, не деформируется. В начальном положении жидкость находится в покое, ящик касается поверхности жидкости одной точкой. Остальная часть поверхности жидкости свободна. Жидкость предполагается идеальной, несжимаемой, течение ее потенциально. В начальный момент времени ящик начинает погружаться с некоторой скоростью, а жидкость вытесняется и бьет двумя струями вдоль поверхности ящика.

Предполагается, что толщина слоя жидкости значительно меньше размеров ящика, угол наклона ящика мал. Используются нелинейные уравнения мелкой воды. Область течения жидкости разделяется на четыре подобласти: I — область под ящиком, II — область поворота жидкости и образования струи, III — основная часть жидкости, IV — отделившаяся часть струи. Для определения течения жидкости в областях I и II используется метод сращиваемых асимптотических разложений.

Течение жидкости в области II определяем в квазистационарном приближении на основе законов сохранения массы, импульса и интеграла Бернулли. Течения в областях I и II анализируются и сращиваются друг с другом и с состоянием покоя в области IV. Отсюда получаем необходимые соотношения для определения давления и скорости жидкости в зависимости от координат движения ящика: вертикального смещения и угла поворота. В результате получается система нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений, которая решается методом Рунге— Кутты четвертого порядка.

Приводятся примеры расчетов, демонстрирующие, что все параметры задачи: масса, размеры, угол наклона и скорость ящика, толщина слоя существенно влияют на характер движения ящика.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 10-08-00076а.

УСТОЙЧИВОСТЬ ДВУХСЛОЙНОЙ СИСТЕМЫ СЛАБОСЖИМАЕМОЙ БИНАРНОЙ ЖИДКОСТИ С ДИФФУЗНОЙ ГРАНИЦЕЙ РАЗДЕЛА

О.А. Фроловская, А.А. Непомнящий

Рассматривается двухслойная система изотермической бинарной жидкости с диффузной границей раздела между слоями, образовавшимися в результате фазового разделения жидкости в поле силы тяжести. Слой жидкости ограничен снизу плоской твердой подложкой и газовой фазой сверху. Деформируемая граница раздела жидкость-газ рассматривается как резкая, тогда как две фазы бинарной жидкости разделены диффузной границей. Учитывается зависимость плотности от массовой концентрации, что является существенным в поле силы тяжести.

Целью настоящей работы является исследование линейной устойчивости основного решения к длинноволновым возмущениям. Изучается влияние силы тяжести, эффекта Марангони на свободной границе и напряжений Кортевега внутри диффузной границы раздела на устойчивость системы.

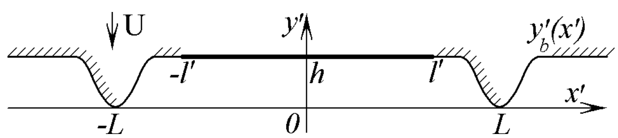
Работа выполнена при финансовой поддержке интеграционных проектов СО РАН № 64, 116, гранта РФФИ № 10-01-00007 и ФЦП "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России", государственный контракт 14.740.11.0355.

ЭФФЕКТ ЗАХВАТА ВОЗДУХА В ЗАДАЧЕ ОБ УДАРЕ ЖИДКОСТЬЮ ПО УПРУГОЙ ПАНЕЛИ

Т.И. Хабахпашева, А.А. Коробкин

В ряде инженерных приложений в морской гидродинамике возникают проблемы, связанные с ударами жидкостью по упругим пластинам и панелям с захватом воздуха между панелью и свободной границей жидкости. Такие удары возникают, например, при колебаниях сжиженного газа в баках танкеров. Известно, что при этом гидродинамические нагрузки настолько велики, что они могут повредить внутреннюю обшивку бака.

В настоящей работе рассматривается начальная стадия удара несжимаемой жидкостью по рифленой упругой панели. Между панелью и жидкостью происходит захват сжимаемого газа. В начальный момент поверхность жидкости параллельна панели. Ребра на панели считаются жесткими, а часть панели между ними - упругой. Рассматривается начальная стадия удара при которой жидкость замыкает каверну, но не соприкасается с упругой частью панели. Основной интерес при решении задачи представляют упругие реакции пластины при ударе жидкостью и влияние на них сжимаемости захваченного газа.



Поставленная задача гидроупругости рассматривается в связной постановке, т.е. гидро-газодинамические нагрузки и прогиб пластины определяются одновременно. Гидродинамическая часть задачи рассматривается в рамках подхода Вагнера. Исследуются эффекты, связанные с влиянием сжимаемости газа в каверне.

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы РАН (грант 14.14.2).

Литература:

1. Korobkin A.A., Khabakhpasheva T.I. (2006) Regular wave impact onto an elastic plate. J. of Engineering Mathematics. Vol.55, P.127-150.

2. Korobkin A.A. (1996) Entry problem for body with attached cavity. In: Proc. 11th IWWWFB, Hamburg, Germany, 4pp.

ВЫЯВЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ И РЕЖИМОВ АКУСТИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ВЯЗКИЕ И ДИСПЕРСНЫЕ СРЕДЫ

В.Н. Хмелёв, Р.Н. Голых, С.С. Хмелёв, Р.В. Барсуков, А.В. Шалунов

Эффективность ультразвукового (УЗ) воздействия при реализации различных технологических процессов в жидких средах определяется свойствами формируемой кавитационной области.

Проведенные теоретические исследования направлены на выявление возможностей реализации режима «развитой» кавитации и обеспечения максимальных размеров кавитационной области в ограниченных объемах в процессе ультразвукового воздействия на технологические среды, имеющие высокую вязкость или дисперсность.

Для выявления оптимальных условий (геометрических размеров и формы технологического объёма) и режимов (интенсивности) УЗ воздействия на различные по вязкости и акустическим свойствам жидкости осуществлено математическое моделирование динамики кавитирующей среды. Предложенный подход к моделированию основан на численном анализе системы уравнений гидродинамики гетерогенной парогазожидкостной среды, разработанной на основе известных моделей микроскопического процесса расширения и схлопывания одиночного кавитационного пузырька.

Проведённые экспериментальные исследования условий и режимов формирования кавитационной области для ряда жидкостей в различных по размерам и форме объёмах позволили установить оптимальные интенсивности УЗ воздействия, которые хорошо согласуются с полученными теоретическими значениями.

В результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований подтверждена эффективность и установлены оптимальные режимы ультразвуковой кавитационной обработки вязких и дисперсных жидкостей, разработаны конструкции и изготовлен ряд специализированных ультразвуковых технологических аппаратов.

СВОБОДНЫЕ КОЛЕБАНИЯ СТРАТИФИЦИРОВАННОЙ ЖИДКОСТИ ВО ВРАЩАЮЩЕМСЯ БАССЕЙНЕ

А.А. Чесноков

Найдено преобразование, с помощью которого нелинейная система уравнений теории длинных волн, описывающая пространственные колебания многослойной стратифицированной жидкости во вращающемся круговом параболическом бассейне, сведена к обычным уравнениям модели многослойной мелкой воды над ровным неподвижным дном. Это преобразование получено в результате анализа теоретико-групповых свойств уравнений движения вращающейся мелкой воды [1], а также более общей модели, учитывающей кусочно-постоянную стратификацию жидкости. Наличие у рассматриваемых уравнений движения нетривиальных симметрий позволило провести групповое размножение решений. С использованием известного стационарного вращательно-симметричного решения получен класс периодических по времени решений, описывающий нелинейные колебания многослойной стратифицированной жидкости в круговом параболоиде с эргодическими траекториями движения жидких частиц. Построенные решения использованы для моделирования линз и рингов во вращающейся неоднородной жидкости. Полученные результаты допускают обобщение на более сложную длинноволновую модель многослойной стратифицированной вращающейся жидкости, учитывающей зависимость горизонтальных компонент вектора скорости от вертикальной координаты [2].

Работа выполнена при поддержке проекта РФФИ № 10-01-00338 и Интеграционного проекта СО РАН № 65.

Литература:

1. Chesnokov A.A. Symmetries and exact solutions of the rotating shallow water equations // Europ. J. Appl. Math. 2009. V. 20. P. 461–477.

2. Чесноков А.А. Симметрии и точные решения уравнений мелкой воды на пространственном сдвиговом потоке // ПМТФ. 2008. Т. 49, № 5. С. 41–54.

ТЕЧЕНИЕ ДВУХФАЗНОГО ПОТОКА В МИКРОКАНАЛАХ

Е.А. Чиннов, О.А. Кабов

Тенденция миниатюризации устройств в различных областях техники, например, в аэрокосмической индустрии, электронике, транспорте, энергетике и медицине вызывает рост интереса к исследованию гидродинамики газо-жидкостных течений и теплообмена в микросистемах и микроканалах. Обзор работ по режимам двухфазных течений в каналах различной геометрии содержится в [1], где показано, что в большинстве опубликованных работ рассматриваются относительно длинные каналы.

Выполнено экспериментальное исследование течения двухфазного потока в прямоугольных коротких горизонтальных каналах высотой от 100 до 500 микрометров. Изучены режимы двухфазного течения и переходы между ними. Зарегистрированы классические режимы двухфазного течения в каналах, включающие пузырьковый, снарядный, раздельный (пленочный) и кольцевой. Обнаружены новые режимы течения (струйный, вспененный и капельный) в прямоугольных коротких горизонтальных каналах.

Значительное влияние на переход между различными режимами двухфазного течения в коротких прямоугольных каналах оказывает неустойчивость течения жидкости в окрестности их боковых стенок. При увеличении приведенной скорости жидкости раздельный режим преобразуется в кольцевой в результате увеличения частоты пульсаций и выброса жидкости на верхнюю стенку с боковых стенок канала.

Обнаружено два типа неустойчивости: боковая (газожидкостное взаимодействие в боковых частях каналов) и фронтальная (взаимодействие жидкости и газа при выходе жидкости из сопла). Эти неустойчивости оказывают определяющее влияние на переходы между режимами двухфазного течения в плоских горизонтальных микроканалах.

Работа поддержана грантами СО РАН (Междисциплинарный интеграционный проект в 64) и Министерством образования и науки Российской Федерации (ГК в 14.740.11.0103).

Список литературы:

1. Чиннов Е.А., Кабов О.А. Двухфазные течения в трубах и капиллярных каналах // ТВТ, 2006, Т. 44. в 5. С. 777-795.

РОЛЬ ТЕПЛОВОГО РАСШИРЕНИЯ В РАЗЛОЖЕНИИ ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТИ В ОКРЕСТНОСТИ ГОРЯЧЕЙ ЧАСТИЦЫ

Ю.А. Чумаков, А.Г. Князева

Термическое разложение углеводородов представляет собой сложный процесс, который можно представить как ряд протекающих последовательно и параллельно химических реакций с образованием большого числа продуктов. Энергетические характеристики реакций определяют направления и максимальную равновесную степень превращения по ним исходных веществ.

В работе исследуется модель разложения углеводорода в окрестности одиночной частицы, нагреваемой СВЧ излучением, с учетом явлений теплового расширения, (приводящего к течению вещества), образования газовой полости в окрестности частицы и ее схлопывания.

Полагаем, что частицы, находящиеся в объеме реагента (гекскадекана), получают некоторое количество энергии от СВЧ излучения, а реагент оказывается для него прозрачным. Так как теплопроводность реагента чрезвычайно низкая инициирование реакции в окрестности каждой из частиц происходит независимо от других частиц.

Математическая постановка задачи включает уравнения теплопроводности для частицы и реагента, уравнение для концентрации суммарного продукта реакции в окрестности частицы, уравнение движения с учетом сил вязкости. В первом приближение полагаем, что плотность регента обратно пропорциональна температуре. "Появлению и схлопыванию" газовой полости будут соответствовать значительные локальные изменения плотности. Задача является симметричной, все величины зависят только от радиальной координаты. В центре частицы выполняется условие симметрии, а на границе расчетной области- условие отсутствия источников и стоков тепла и массы.

Исследование показало, что тепловое расширение вещества в окрестности частицы, вызванное высоким градиентом температуры, оказывает существенное влияние как на инициирование реакции, так и на отвод продукта.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЛН-УБИЙЦ: КАЧЕСТВЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ И ПРЕДСКАЗАНИЕ

Р.В. Шамин

Волны-убийцы изучаются с помощью моделирования полных нелинейных уравнений, описывающих динамику идеальной жидкости со свободной поверхностью. Теоретическое и численное изучение этих уравнений основано на использовании конформных переменных [1].

В ходе масштабных вычислительных экспериментов получены качественные характеристики волн-убийц, а также установлена устойчивость решений, описывающих волны-убийцы. Получены оценки вероятности возникновения волн-убийц в зависимости от параметров начального волнения, что может быть использовано для предсказания возникновения волн-убийц [2].

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Правительства РФ для государственной поддержки научных исследований, проводимых под руководством ведущих ученых в российских образовательных учреждениях высшего профессионального образования (Договор №11.G34.31.0035 от 25 ноября 2010 между МинОбрНауки РФ, НГУ и ведущим ученым).

Литература:

1. Шамин Р.В. Вычислительные методы в моделировании поверхностных волн в океане. М.: Наука, 2008.

2. Захаров В.Е., Шамин Р.В. О вероятности возникновения волн-убийц // Письма в ЖЭТФ, том 91 (2010), вып. 2, с. 68-71.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ИОНОВ В ПЛАЗМЕ В УСЛОВИЯХ МАГНЕТРОННОГО ОСАЖДЕНИЯ ПОКРЫТИЯ

С.А. Шанин, А.Г. Князева

При нанесении покрытий вакуумно-дуговым методом важной задачей является нахождение распределения ионов в плазме в окрестности растущего покрытия. Информация о распределении ионов, генерируемых в плазме вакуумного дугового разряда, и о факторах, оказывающих влияние на это распределение, имеет важное значение как для понимания процессов образования плазмы, так и для определения диапазона параметров ионно-плазменного напыления, обеспечивающего получение покрытий с заданными свойствами. В настоящей работе моделируется процесс распределения ионов в камере магнетронной установки в приближении слабоионизованной плазмы.

Камера представляет собой цилиндр радиуса R_1, в центре которой расположен манипулятор или деталь радиуса $R2$, которая вращается с угловой скоростью w. Поток ионов поступает камеру из одного или нескольких источников, расположенных на уровне внешнего радиуса. В общем случае распределение ионов следует из ре шения системы уравнений неразрывности, движения, и диффузии с соответствующими начальными и граничными условиями.

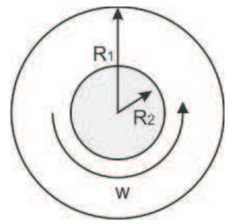


Рис. 1: Иллюстрация

Литература:

1. Фринк - Кименецкай Д.А. Диффузия и теплопередача в химической кинетики, М., 1987.

2. Барвинок В.А., Богданович В.И. Физическое и математическое моделирование процесса плазмохимического гетерогенного синтеза покрытий из плазменных потоков: ЖТФ, 2009, Т. 78, № 1, С. 68–73.

ВОЗДЕЙСТВИЕ ТЕРМОКАПИЛЛЯРНЫХ ЭФФЕКТОВ НА ВОЛНОВОЕ ДВИЖЕНИЕ ПЛЕНОК ЖИДКОСТИ

Е.Н. Шатский, Е.А. Чиннов

Известно, что гидродинамические двумерные волны в изотермических пленках жидкости неустойчивы к трехмерным возмущениям. Установлено, что длина волны неустойчивости к поперечным трехмерным возмущениям убывает с ростом числа Рейнольдса [1].

При пленочном течении жидкости по нагреваемой поверхности, кроме гидродинамической неустойчивости, приводящей к развитию трехмерных волн, имела место также термокапиллярная неустойчивость, следствием которой являлось возникновение на поверхности пленки системы стационарных трехмерных структур в виде ряда струй с тонкой пленкой между ними.

В работе [2] выполнено экспериментальное исследование эволюции гидродинамических возмущений в термокапиллярно-волновые при нагреве вертикально стекающей пленки воды с использованием высокоскоростной ИК камеры. Показано, что на трехмерном фронте гидродинамической волны появляются температурные неоднородности, которые за счет действия термокапиллярных сил приводят к деформации пленки жидкости и формированию струй.

Проведено экспериментальное исследование эволюции поля температуры на поверхности нагреваемых пленок воды. Установлено, что в остаточном слое пленки жидкости после прохождения волнового фронта возникают температурные неоднородности с характерной длиной волны неустойчивости, соответствующей расстоянию между термокапиллярно-волновыми структурами в режиме Б. Показано, что вследствие действия термокапиллярных сил на поверхности происходит деформация трехмерных волн и переход к струйному течению.

Работа поддержана молодежным научно-исследовательским проектом ИТ СО РАН.

Литература:

1. Joo S. W., Davis S.H. Instabilities of Three-Dimensional Viscous Falling Films // J. Fluid Mech. 1992. V. 242. P. 529-547.

2. Чиннов Е.А., Шатский Е.Н. Воздействие термокапиллярных возмущений на волновое движение нагреваемой пленки жидкости // Письма ЖТФ. 2010. Т. 36. в 2. С. 7-17.

СВОБОДНЫЕ ГРАНИЦЫ В ЗАДАЧАХ БУРЕНИЯ СКВАЖИН С УЧЕТОМ НАПРЯЖЕНИЙ В НАСЫЩЕННОЙ ПОРИСТОЙ СРЕДЕ

В.В. Шелухин

При бурении скважин из-за превышения скважинного давления над пластовым в нефтяной пласт проникает фильтрат бурового раствора и одновременно на внутренней стенке скважины нарастает глинистая корка. Фронт проникновения фильтрата и поверхность корки представляют собой неизвестные границы, подлежащие определению. Указанная задача возникает при электромагнитном каротаже скважин: фронт проникновения необходимо учесть для правильной интерпретации измеряемого электрического сопротивления прискважинной зоны. Ранее исследование зоны проникновения проводилось для случая, когда деформацией пористого скелета можно пренебречь. Однако при больших давлениях в пласте возникают значительные напряжения, которые меняют проницаемость пласта и сказываются на динамике фронта проникновения.

В работе предложена математическая модель динамики напряженного состояния, которая позволяет определить роль деформаций в фильтрационных течениях вблизи скважины. Дано исследование фронта проникновения и проведено сравнение с ранее полученными результатами для жесткого пористого скелета.

ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОС В ТАЮЩЕМ СНЕГЕ

К.А. Шишмарев

В работе изучается задача тепломассопереноса в тающем снеге, который рассматривается как трехфазная сплошная среда, состоящая из воды, воздуха и льда. В основу математической модели положены уравнения сохранения массы для каждой из фаз с учетом фазовых переходов, уравнения двухфазной фильтрации Маскета-Леверетта для воды и воздуха, уравнение сохранения энергии для тающего снега [1],[2]. Для данной системы уравнений исследуется начально-краевая задача.

Работа выполнена при финансовой поддержке аналитической ведомственной целевой программы "Развитие научного потенциала высшей школы (2009-2010 годы)" (код проекта № 2.2.2.4/4278) и программы "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России" на 2009-2013 годы.

Литература:

1. Папин А.А. Разрешимость модельной задачи тепломассопереноса в тающем снеге. Прикладная механика и техническая физика, 2008, Т. 49, №. 4, С. 527-536.

2. Кучмент Л.С., Демидов В.Н., Мотовилов Ю.Г. Формирование речного стока. Физико-математические модели. М., 1983.

СОСТАВ И СТРУКТУРА МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОПИСАНИЯ РЕЧНОГО СТОКА И ПРОЦЕССОВ В ЭСТУАРИЯХ СИБИРСКИХ РЕК

В.А.Шлычков

Для решения задач формирования вод суши в условиях сибирского Севера наиболее перспективным представляется физико-математическое моделирование. Это связано с весьма слабой информационной обеспеченностью северных территорий, где гидрологические посты расположены чрезвычайно редко. Также невелика длина рядов наблюдений для получения статистически значимых выводов. Вместе с тем, физико-математические модели служить средством оценки недостающей информации, а их структура ориентирована на доступные измеряемые данные.

Следует отметить, что построение адекватных математических моделей речного стока является одной из наиболее сложных задач гидроинформатики. Это связано со сложностью и разнообразием процессов на водосборе, значительной пространственной неоднородностью территорий Сибири, высокой чувствительностью характеристик стока к вариациям природных факторов, в частности к метеоусловиям.

Для расчета потоков субстанции из русловой системы в эстуарий необходимо правильно воспроизвести совокупность гидродинамических параметров водотока, т.е. скоростей, расходов, уклонов свободной поверхности, донных напряжений и др. Это обеспечит базу для адекватного расчета динамики вторичных процессов – переноса примесей, дисперсии, физико-химических превращений.

Описание гидродинамических процессов на основе современных представлений должно опираться на комплекс моделей, включающий:

- термодинамика снежного покрова;
- массоэнергообмен в почвогрунтах, в т.ч. в зонах вечной мерзлоты;
- поверхностный склоновый сток по территории водосбора;
- движение грунтовых вод в водонасыщенном слое;
- движение воды в русловой системе;
- гидрофизика взаимодействия русловых и морских вод в эстуарии.

ДИНАМИКА РАЗРЫВА СЛОЯ ЖИДКОСТИ НА ЖИДКОЙ ПОДЛОЖКЕ

А.В. Шмыров, К.Г. Костарев

В исследовании поведения жидких пленок значительное внимание уделяется вопросам их деформации при локальном внешнем воздействии. Однако изучение этого процесса, как правило, завершается на моменте разрыва пленки. Трудности дальнейшего математического описания связаны с нарушением ее сплошности, в то время как в эксперименте приходится резко увеличивать скорость видеозаписи с появлением мгновенно растущего разрыва. Усложняющим фактором является и взаимодействие пленки с твердой подложкой, а при отсутствии последней - необходимость учета деформации пленки гравитацией.

В докладе представлены результаты эксперимента по изучению возникновения разрыва пленки жидкости на жидкой подложке. Наличие последней не только позволяет избежать воздействия гравитации, но и замедляет распространение разрыва пленки за счет вязкого трения, не меняя самого характера процесса. В результате удалось определить зависимости скорости роста разрыва от толщины пленки и вязкости ее жидкости.

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы ОЭММПУ РАН № 09-Т-1-1005 и совместного проекта институтов СО, УрО и ДВО РАН № 116/09-С-1-1005.

АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ БИОКОНВЕКЦИИ В СРЕДЕ С ПЕРЕМЕННОЙ ПОРИСТОСТЬЮ

Е.Ю. Щекинова, А. Краберг, И. Буссманн, М. Боерсма, К. Вилтшире

Биоконвекция — это явление формирования пространственной структуры в результате перемещения микроорганизмов в жидкости [1].

Биоконвекцию наблюдают в лабораторных услониях в тонком слое раствора микроорганизмов [2]. В случае вертикального передвижения микроорганизмов в жидкости создается верхний неустойчивый слой, по плотности превышающий усреднённую плотность раствора. В природе биоконвекция наблюдаетя в верхних слоях снега, в увлажненых песчаных берегах рек и почвы.

Для анализа динамики явления биоконвекции рассматривалась модель континуума [2]. Было показано, что устойчивость биоконвекции в пористой среде в значительной степени регулируется параметром проходимости пористой среды. Однако в естественных условиях проходимость среды не постоянна, а уменьшается с глубинной для почвенного ландшафта. Теоретическая модель для конвекции в гетерогенной среде в тонком слое с переменной проходимостью была рассмотрена в [3]. Было показано, что с увеличением градиента проходимости размер конвективной ячейки уменьшается и приближается к верхней границе слоя.

В данной работе мы рассмотрим влияние градиента проходимости на устойчивость биоконвекции в пористой среде, используя уравнения Дарси в приближениии Бусинеска.

Литература:

1. Pedley T. J., Kessler J. O. Annul. Rev. Fluid Mech. 1992. Vol. 24 PP. 313-358.

2. Kuznetsov A. V., Avramenko A. A. Int. Comm. Heat Mass Transfer 2002. 29 PP. 175-184.

3. Alloui Z., Bennacer R., Vasseur P. Heat Mass Transfer 2009. Vol. 45 PP. 1117-1127.

EVAPORATION AND GRAVITY-DRIVEN FLOW OF LIQUID FILM ON HEATED SURFACE

V.S. Ajaev, D. Brutin, L. Tadrist

We consider evaporation and viscous flow in a liquid film flowing down an inclined heated surface under the action of gravity. The gas phase above the film is assumed to be moist air with fixed vapor concentration far away from the interface. The leading edge of the macroscopic part of the film flows over the region covered with an ultra-thin film. The thickness of the latter is expressed in terms of the surface temperature and the air humidity for two commonly used disjoining pressure models. The same models are then incorporated into the description of the transition region between the macroscopic film and the ultra-thin one. Our modeling approach is similar to the one introduced by Poulard et al. [1] for the case of evaporating droplets except that the flux of vapor away from the interface is found based on the numerical solution of the unsteady diffusion equation. The rates of evaporation and contact line speed are found as functions of the inclination angle and the solid surface temperature. Results are compared to the case when the liquid film is in contact with pure saturated vapor [2].

References:

1. Poulard C., Benichou O., Cazabat A.M. Freely receding evaporating droplets // Langmuir 2003. Vol. 19. PP. 8828–8834.

2. Klentzman J., Ajaev V.S. The effect of evaporation on fingering instabilities // Phys. Fluids 2009. Vol. 21. Art.122101.

SOLUTION OF THE SINGULARLY PERTURBED FREE BOUNDARY PROBLEM FOR THE SYSTEM OF PARABOLIC EQUATIONS IN THE HÖLDER SPACES

G.I. Bizhanova

There is considered multidimensional two phase free boundary problem for the system of the parabolic equations with two small parameters $\kappa > 0$ and æ > 0 at the principal terms in the conditions on the free boundary. The unique solvability of this problem is proved in the weighted and classical Hölder spaces and coercive estimate of the solution is obtained for small T_0. The constant in the estimate of a solution and T_0 do not depend on these small parameters. From the solution of this problem letting κ to zero and then æ to zero we obtain the existence, uniqueness and estimates of the solutions in the classical Hölder spaces without loss of smoothness of the solutions to the second problem (with $\kappa = 0$) and then to the third one (with κ=0 and æ $= 0$).

This problem was studied jointly with J.F.Rodrigues.

MODELING CHALLENGES IN COASTAL RESEARCH OF THE ALFRED WEGENER INSTITUTE FOR POLAR AND MARINE RESEARCH

Thomas P. Brey, Karen H. Wiltshire

The Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research (AWI) is a leader in German and European physical and biological marine oceanography with strong emphasis on cold water systems, i.e. Arctic, Antarctic and northern boreal environments. Coastal environments and their ecosystems which are under particular pressure by climate change and direct human impact are a major focus of our work. In these dynamic systems, we investigate physical, biogeochemical and ecological key-processes at high temporal and spatial resolution. In order to gain a mechanistic understanding of such processes we have to develop appropriate models. This is particularly challenging regarding biological and ecological functions. Here we present a selection of actual research projects that exemplify our approach and indicate the challenges we encounter.

THE PLANKTON COMMUNITY OF THE LENA DELTA IN RELATION TO HYDROGRAPHIC CONDITIONS

A. Kraberg, I. Bussmann, M. Loeder, K. Wiltshire

The Lena River is one of the largest rivers in the world annually discharging an average 400 tons of water and 15-20 Mio tons of sediments into the Laptev Sea, particularly during spring ice melt. Hence the Lena Delta is a very complex hydrographical region with difficult conditions for aquatic biological communities, particularly with respect to light conditions, salinity, temperature and turbidity. As the focus had previously been on physic-chemical aspects, a first cruise in 2009 started to investigate the biological characteristics and processes in the water column, including zooplankton and phytoplankton as well as methane distribution. Here we concentrate on phytoplankton data from the Lena Delta in relation to water chemistry and hydrography.

These data reflect the complex regime in the river and delta. All samples were completely dominated by freshwater plankton assemblages, with the exception of a few coastal sites, which had a mixed assemblage of freshwater and marine species. A striking difference between the coastal and riverine sites was the species abundance with cell numbers in the river proper, far exceeding cell numbers in the coastal region.

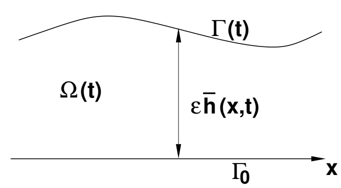
The concentration of sediment in the samples followed no obvious pattern but even in the most turbid samples phytoplankton remained abundant. Despite the high phytoplankton counts, chlorophyll concentrations were particularly low, possibly also influenced by the amount of organic matter and Gelbstoff in the samples. Methane distribution within the Delta was highly variable, with hot spots in certain channels and at sites with melting permafrost. Temperature and conductivity were uniformly distributed within the delta, but steep gradients occur outside the Delta proper.

JUSTIFYING THE THIN FILM APPROXIMATION: A RIGOROUS LIMIT RESULT FOR STOKES FLOW DRIVEN BY SURFACE TENSION

G. Prokert

For $\varepsilon \in (0,1)$ we consider the moving boundary problem of Stokes flow driven by surface tension in a layer geometry (see Figure), given by

$$\begin{aligned} -\Delta u + \nabla p &= 0 && \text{in } \Omega(t), \\ \nabla \cdot u &= 0 && \text{in } \Omega(t), \\ T(u,p)n &= \kappa n && \text{on } \Gamma(t), \\ V_n &= u \cdot n && \text{on } \Gamma(t), \\ u &= 0 && \text{on } \Gamma_0, \\ \bar{h}(\cdot, 0) &= h_0. \end{aligned}$$



Here u and p denote the velocity and pressure fields of the liquid, $T(u,p)$ its Newtonian stress tensor, and κ and V_n the curvature and normal velocity of $\Gamma(t)$, respectively.

We show that as $\varepsilon \to 0$, the rescaled film profiles $h(x,t) := \bar{h}(x, \varepsilon^{-3}t)$ approach the solution of the well-known Thin Film equation

$$\partial_t h + \tfrac{1}{3}\nabla_x \cdot (h^3 \nabla_x \Delta_x h) = 0.$$

While this is straightforward on the level of formal asymptotics, a rigorous analysis has to deal with the degeneracy of the limit which is reflected e.g. in the fact that a first-order evolution equation is replaced by a limit problem of order four. Our main techniques are uniform energy estimates in appropriately scaled Sobolev norms of sufficiently high order, based on parabolicity. This is joint work with M. Günther, Leipzig.

References:

Günther M., Prokert G. A justification for the thin film approximation of Stokes flow with surface tension. J. Differential Equations 245 (2008), no. 10, 2802–2845.

DYNAMICS OF SUPPORTS OF SOLUTIONS TO ANISOTROPIC PARABOLIC EQUATIONS WITH NONSTANDARD GROWTH

S.I. Shmarev

The talk addresses the question of propagation of disturbances from the data in solutions of anisotropic parabolic equations with nonstandard growth conditions. The prototype of such equations is furnished by the equation $u_t = \sum_{i=1}^{n} D_i \left(|D_i u|^{p_i(x,t)-2}\nabla u\right) + c_0|u|^{\sigma(x,t)-2}u + f$. The anisotropy and the variable nonlinearity of the diffusion part lead to certain properties intrinsic for the solutions of equations of this type. We prove that unlike the case of isotropic diffusion the solutions vanish in a finite time even in the absence of absorption (i.e. if $c_0 = 0$), provided that the diffusion is fast in only one direction. It is shown that in the case of slow anisotropic diffusion the supports of solutions display a behavior typical for the solutions of equations with strong absorption terms: the support does not expand in the direction corresponding the slowest diffusion. For certain ranges of the nonlinearity exponents the supports are localized both in space and time. We also discuss the influence of anisotropy on the blow-up of solutions and show that for equations with variable nonlinearity the effects of finite vanishing and blow-up may happen even if the equation becomes linear as $t \to \infty$. The results were obtained in collaboration with Prof. S. Antontsev. The presentation follows the papers [1–4].

The work was supported by the Research Project MTM2010-18427 MICINN, Spain.

References:

1. Antontsev S.N, Shmarev S.I. Anisotropic parabolic equations with variable nonlinearity// Publ. Mat. 2009. Vol. 53. PP. 355–399.

2. Antontsev S.N, Shmarev S.I. Vanishing solutions of anisotropic parabolic equations with variable nonlinearity// J. Math. Anal. Appl. 2010. Vol. 361. PP. 371–391.

3. Antontsev S.N, Shmarev S.I. Localization of solutions of anisotropic parabolic equations// Nonlinear Anal. (2009). Vol. 71. PP. e725–e737.

4. Antontsev S.N, Shmarev S.I. Blow-up of solutions to parabolic equations with nonstandard growth conditions// J. Comput. Appl. Math. 2010. Vol. 234. PP. 2633–2645.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Актершев Сергей Петрович, 630090, Новосибирск, Просп. Академика Лаврентьева 1, Институт теплофизики СО РАН, **тел.:**(383)316-55-47, **e-mail:** sergey-aktershev@mail.ru

Алабужев Алексей Анатольевич, 614013, Пермь, ИМСС УрО РАН, **тел.:** (342)237-83-31, **e-mail:** alabuzhev@icmm.ru

Алексеев Геннадий Валентинович, 690041, Владивосток, ул. Радио, д. 7, ИПМ ДВО РАН, **тел.:** (4232)31-13-97, **e-mail:** alekseev@iam.dvo.ru

Алексеенко Сергей Владимирович, 660036, Новосибирск, пр. Лаврентьева, 1, ИТ СО РАН, **тел.:** (383)330-70-50, **e-mail:** aleks@itp.nsc.ru

Андреев Виктор Константинович, 660036, Красноярск, Академгородок, ИВМ СО РАН, **тел.:** (391)290-75-94, **e-mail:** andr@icm.krasn.ru

Андронов Артем Николаевич, 430005, Саранск, Мордовский государственный университет, **e-mail:** arbox@inbox.ru

Архипов Дмитрий Григорьевич, 630090, Новосибирск, пр-т Акад. Лаврентьева, 1, ИТ СО РАН, **тел.:** (383) 335-60-57, **e-mail:** tsvel@itp.nsc.ru

Афанасьев Константин Евгеньевич, 650043, Кемерово, КемГУ, **тел.:** (3842)54-64-69, **e-mail:** keafa@kemsu.ru.

Ахмерова Ирина Геннадьевна, 656049, Барнаул, АлтГУ, **тел.:** 8(3852)36-70-67, **e-mail:** iakhmerova@mail.ru

Барсуков Роман Владиславович, 659305, Бийск, БТИ АлтГТУ, **тел.:** (3854)43-25-70, **e-mail:** roman@bti.secna.ru

Батяев Евгений Александрович, 630090, Новосибирск, ИГиЛ СО РАН, **тел:** (383)333-30-66, **e-mail:** john@hydro.nsc.ru

Бекежанова Виктория Бахытовна, 660036, Красноярск, Академгородок, ИВМ СО РАН, **тел.:** (391)290-51-42, **e-mail:** vbek@icm.krasn.ru

Бирих Рудольф Вольдемарович, 614013, Пермь, ул. Ак.Королева, 1, Институт механики сплошных сред УрО РАН, **тел.:** +7(342)2378-314, **e-mail:** rbirikh@mail.ru

Боднарь Троян Аврелович, 659305, Бийск, ул.Трофимова, 27, БТИ, **тел.:** (3854)43-53-04, **e-mail:** bta@bti.secna.ru

Бочаров Андрей Александрович, 630090, Новосибирск, пр-т Акад. Лаврентьева, 1, ИТ СО РАН, **тел.:** (383) 335-60-57, **e-mail:** tsvel@itp.nsc.ru

Брацун Дмитрий Анатольевич, 614990, Пермь, ул. Сибирская, 24, Пермский государственный педагогический университет, **тел.:** (342) 238-63-25, **e-mail:** dmitribratsun@rambler.ru

Бушуева Кристина Андреевна, 614013, Пермь, ул. Акад. Королева, 1, Институт механики сплошных сред Уральского отделения Российской академии наук, **тел.:** (342) 237-83-14, **e-mail:** bca@icmm.ru

Веденеев Василий Владимирович, 119991, Москва, Ленинские горы, МГУ, механико-математический ф-т, **тел.:** (916) 338-23-82, **e-mail:** vasily@vedeneev.ru

Вертгейм Игорь Иосифович, 614013, Пермь, ул. Акад. Королёва, 1, ИМСС УрО РАН, **тел.:** (342)237-83-23, **e-mail:** wertg@icmm.ru

Воеводин Анатолий Федорович, 630090, Новосибирск, пр. Лаврентьева, 15, Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН, **тел.:** (383)333-16-72, **e-mail:** voevodin@hydro.nsc.ru

Гаврилов Константин Алексеевич, 614990, Пермь, Букирева 15, Пермский государственный университет, **тел.:** (342) 239-62-27, **e-mail:** gavrilov_k@inbox.ru

Гасенко Владимир Георгиевич, 630090, Новосибирск, Академгородок, ИТ СО РАН, **тел.:** (383)316-50-38, **e-mail:** gasenko@itp.nsc.ru

Головин Сергей Валерьевич, 630090, Новосибирск, пр. Лаврентьева 15, ИГиЛ СО РАН, **тел.:** (383) 333-18-47, **e-mail:** golovin@hydro.nsc.ru

Голых Роман Николаевич, 659305, Бийск, БТИ АлтГТУ, **тел.:** (3854)43-25-70, **e-mail:** grn@bti.secna.ru

Гончаренко Игорь Михайлович, 634055, г. Томск, ИСЭ СО РАН, Институт физики высоких технологий, ГОУ ВПО НИ ТПУ **тел.:** (3822)49-13-00, **e-mail:** potter@opee.hcei.tsc.ru

Гончарова Ольга Николаевна, 656049, Барнаул, пр. Ленина, 61, Алтайский государственный университет, **тел.:** (3852)36-70-67, **e-mail:** olga.n.goncharova@gmail.com

Гранкина Татьяна Борисовна, 630090, Новосибирск, Морской пр., 2, НФ ИВЭП СО РАН, НГУ **тел.:** (383)330-84-84, **e-mail:** grankina@ad-sbras.nsc.ru

Демидов Валерий Николаевич, 634021, Томск, ИФПМ СО РАН, ТПУ, **тел.:** (3822)28-63-81

Денисова Мария Олеговна, 614013, Пермь, ул. Ак. Королева, 1, Институт механики сплошных сред Уральского отделения Российской академии наук, **тел.:** (342)237-83-14, **e-mail:** maria.denisova@icmm.ru

Доманский Андрей Владимирович, 693022, Южно-Сахалинск, ул. Науки 1б, ИМГиГ ДВО РАН, **тел.:** (4242)79-33-35, **e-mail:** domanskii@imgg.ru; andydomanski@mail.ru

Донская Вера Владимировна, 344068, Ростов-на-Дону, Южный Федеральный Университет, кафедра Вычислительной математики и математической физики, **тел.:** 89188591868, **e-mail:** veramath88@gmail.com

Ерманюк Евгений Валерьевич, 630090, Новосибирск, пр. ак. Лаврентьева 15, ИГиЛ СО РАН, **тел.:** (383)3301241, **e-mail:** ermanyuk@hydro.nsc.ru

Житников Владимир Павлович, 450000, Уфа, К. Маркса, 12, УГАТУ, кафедра КМ, **тел.:** (3472)73-32-00, **e-mail:** zhitnik@mail.ru

Жуков Владимир Егорович, 630090, Новосибирск, Просп. Ак. Лаврентьева 1, Институт теплофизики СО РАН, **тел.:**(383)330-87-00, **e-mail:** zhukov@itp.nsc.ru

Жуков Михаил Юрьевич, 344068, Ростов-на-Дону, Южный Федеральный Университет, кафедра Вычислительной математики и математической физики, **e-mail:** myuzhukov@mail.ru

Журавлева Елена Николаевна, Новосибирск, НГАСУ, **тел.:** 9137060712, **e-mail:** zhuravleva_e@mail.ru

Зеньковская С.М., 344090, г. Ростов-на-Дону, Южный Федеральный Университет, **тел.:** (863)297-511-4, **e-mail:** zenkov@math.sfedu.ru

Зубарев Николай Михайлович, 620016, Екатеринбург, ул. Амундсена 106, ИЭФ УрО РАН, **тел.:** (343)267-87-76, **e-mail:** nick@iep.uran.ru

Зубарева Ольга Владимировна, 620016, Екатеринбург, Амундсена, 106, ИЭФ УрО РАН, **тел.:** (343)267-87-76, **e-mail:** olga@ami.uran.ru

Иванцов Андрей Олегович, 614013, Пермь, ул. Академика Королева, д. 1, Институт механики сплошных сред УрО РАН, **e-mail:** aivantsov@gmail.com

Кан Су Ман, 630090, Новосибирск, ИТ СО РАН, **тел.:** (383) 316-52-31, **e-mail:** suman@gorodok.net

Карабут Евгений Алексеевич 630090, Новосибирск, ИГиЛ СО РАН, **тел.:** 9039982697, **e-mail:** eakarabut@gmail.com

Карабут Петр Евгеньевич 630090, Новосибирск, ИГиЛ СО РАН, **тел.:** (3383)333-22-01, **e-mail:** karabutp@mail.ru

Карабцев Сергей Николаевич 650043, Кемерово, КемГУ, **тел.:** (3842)54-64-69630090, **e-mail:** skarab@kemsu.ru

Качулин Дмитрий Игоревич, 630090, Новосибирск, пр-т Акад. Лаврентьева, 1, ИТ СО РАН, **тел.:** (383) 316-50-35, **e-mail:** theory@itp.nsc.ru

Ковалевская Ксения Викторовна, 614013, Пермь, ул. Академика Королева, д. 1, Институт механики сплошных сред УрО РАН, **e-mail:** coldfish@bk.ru

Ковыркина Оляна Александровна 630090, Новосибирск, ИГиЛ СО РАН, **тел.:** (3383)333-22-01, **e-mail:** olyana@ngs.ru

Козлов Виктор Геннадьевич, 614990, Пермь, ПГПУ, **тел.:** (342)238-64-29 , **e-mail:** kozlov@pspu.ru

Коробкин Александр Алексеевич, Департамент математики, Университет Восточной Англии, Норвич, Великобритания, **e-mail:** a.korobkin@uea.ac.uk

Костарев Константин Геннадьевич, 614013, Пермь, ул. Акад. Королева, 1, ИМСС УрО РАН, **тел.:** (342) 237-83-14, **e-mail:** kostarev@icmm.ru

Костиков Василий Константинович, 630090, Новосибирск, пр. ак. Лаврентьева, 15, ИГиЛ СО РАН, **тел.:** (383)333-31-99, **e-mail:** vasilii_kostikov@mail.ru

Князева Анна Георгиевна, 634021, Томск, ИФПМ СО РАН, ТПУ, **тел.:** (3822)28-63-81, **e-mail:** knyazeva@mail.ru

Крипакова Мария Викторовна, 634034, г. Томск, Институт физики высоких технологий, ГОУ ВПО НИ ТПУ **тел.:** +7(923)420-33-79, **e-mail:** milla_ms@mail.ru

Кузнецов Владимир Васильевич, 630090, Новосибирск, проспект ак. Лаврентьева, 15, ИГиЛ СО РАН, **тел.:** (383)333-30-46, **e-mail:** kuznetsov@hydro.nsc.ru

bf Кузнецов Евгений Александрович, 119991, Москва, Ленинский пр. 53, ФИАН, 630090, Новосибирск, ул. Пирогова 2, НГУ, **тел.:** (499)132-68-19, **e-mail:** kuznetso@itp.ac.ru

Куйбин Павел Анатольевич, 630090, Новосибирск, ИТ СО РАН; НГУ, **тел.:** (383)330-60-44, **e-mail:** kuibin@itp.nsc.ru

Кумачков Марат Анатольевич, 614013, Пермь, ул. Акад. Королёва, 1, ИМСС УрО РАН, **тел.:** (342)237-83-23, **e-mail:** maratkmch@rambler.ru

Куперштох Александр Леонидович, 630090, Новосибирск, ИГиЛ СО РАН, **тел.:** (383)333-32-49, **e-mail:** skn@hydro.nsc.ru

Лаврентьева Ольга Михайловна, 32000, Haifa, Israel, Chemical Engineering Dept., Technion, **тел.:** (972)4-829-3089, **e-mail:** ceolga@techunix.technion.ac.il

Левин Борис Вульфович, 693022, Южно-Сахалинск, ул. Науки 1б, ИМГиГ ДВО РАН, **тел.:** (4242)79-33-02, **e-mail:** levinbw@mail.ru

Лемешкова Елена Николавена, 660041, Красноярск, пр. Свободный, ИМ СФУ, **тел.:** (3912)44-82-22, **e-mail:** lena_lemeshkova@mail.ru

Лобов Николай Иванович, 614990, Пермь, ул.Букирева, 15, Пермский государственный университет, **e-mail:** lobov@psu.ru

Логинов Борис Владимирович, 430027, Ульяновск, Ульяновский государственный технический Университет, **e-mail:** loginov@ulstu.ru

Луцик Анастасия Ивановна, 614013, Пермь, ул. Акад. Королева, 1, Институт механики сплошных сред Уральского отделения Российской академии наук **тел.:** (342) 237-84-61, **e-mail:** nusia-perm@mail.ru

Любимов Дмитрий Викторович, 614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15, Пермский государственный университет, **e-mail:** lyubimov@psu.ru

Любимова Татьяна Петровна, 614013, Пермь, ул. Акад.Королева, 1, Институт механики сплошных сред УрО, **e-mail:** lubimova@psu.ru

Ляпидевский Валерий Юрьевич, 630090, Новосибирск, ИГиЛ СО РАН, **тел.:** (383)333-24-59, **e-mail:** liapid@hydro.nsc.ru

Макаренко Николай Иванович, 630090, Новосибирск, пр. ак. Лаврентьева, 15, ИГиЛ СО РАН, **тел.:** (383)333-31-99, **e-mail:** makarenko@hydro.nsc.ru

Макеев Олег Владимирович, 432027, Ульяновск, Ульяновский государственный технический Университет, **e-mail:** o.makeev@ulstu.ru

Маркович Дмитрий Маркович, 630090, Новосибирск, пр. Лаврентьева, 1, ИТ СО РАН, **тел.:** (383)330-90-40, **e-mail:** dmark@itp.nsc.ru

Марчук Игорь Владимирович, 630090, Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева, 1, ИТ СО РАН, **тел.:** (383)3165137, **e-mail:** marchuk@itp.nsc.ru

Мизёв Алексей Иванович, 614013, Пермь, ул. Ак.Королева, 1, Институт механики сплошных сред УрО РАН, **тел.:** +7(342)2378-314, **e-mail:** alex_mizev@icmm.ru

Миколайчук Михаил Алекснадрович, 634021, Томск, ИФПМ СО РАН, **тел.:** (3822)28-63-81, **e-mail:** mihail@mikolaichuk.com

Мисюра Сергей Яковлевич, 630090, Новосибирск, пр.Ак. Лаврентьева, 1, **тел.:** (383)335-65-77, **e-mail:** elistratov@itp.nsc.ru

Моисеев Михаил Иванович, 630090, Новосибирск, Просп. Ак.

Лаврентьева 1, Институт теплофизики СО РАН, **тел.:** (383)330-87-00, **e-mail:** moiseevmikhail@gmail.com

Моргулис А.Б., 344090, Ростов-на-Дону, Мильчакова, 8а, ф-т математики, механики и комп. наук ЮФУ, **e-mail:** amor@math.sfedu.ru

Муксимова Роза Равилевна, 450000, Уфа, К. Маркса, 12, УГАТУ, кафедра КМ, **тел.:** (3472)73-32-00, **e-mail:** rose_muks@rambler.ru

Мулляджанов Рустам Илхамович, 630090, Новосибирск, ИТ СО РАН **тел.:** (383) 330-90-60, **e-mail:** rustammul@gmail.com

Накоряков Владимир Елиферьевич, 630090, Новосибирск, пр.Ак. Лаврентьева, 1, **тел.:** (383)330-92-76, **e-mail:** nakve@itp.nsc.ru

Новосядлый В.А., 344090, г. Ростов-на-Дону, Южный Федеральный Университет, **тел.:** (863)297-511-4, **e-mail:** vaalno@gmail.com

Овчинников Валерий Викторович, 630090, Новосибирск, Просп. Ак. Лаврентьева 1, Институт теплофизики СО РАН, **тел.:** (383)316-15-47, **e-mail:** avks@itp.nsc.ru

Осипов Сергей Владимирович, 115035, Москва, Софийская наб., 26/1, ОАО "НК "Роснефть", **тел.:** (495)7774477, **e-mail:** s_osipov@rosneft.ru

Остапенко Владимир Викторович 630090, Новосибирск, ИГиЛ СО РАН, **тел.:** (3383)333-22-01, **e-mail:** ostapenko_vv@ngs.ru

Павленко Александр Николаевич, 630090, Новосибирск, Просп. Ак. Лаврентьева 1, Институт теплофизики СО РАН, **тел.:** (383)330-87-00, **e-mail:** pavl@itp.nsc.ru

Папин Александр Алексеевич, 656049, Барнаул, АлтГУ, **тел.:** (3852)36-70-67, **e-mail:** sasha.papin@mail.ru

Паршакова Янина Николаевна, 614013, Пермь, ул. Акад. Королева, 1, Институт механики сплошных сред УрО, **e-mail:** gadiyatova@mail.ru

Перминов Анатолий Викторович, 614000, Пермь, Комсомольский пр., 29а, Пермский государственный технический университет, **тел.:** (8902)79-25-662, **e-mail:** peminov1973@mail.ru

Петров Александр Георгиевич, 119516, Москва, пр-т Вернадского, 101, корп. 1, ИПМех РАН, **тел.:** (495)434-16-92, **e-mail:** petrov@ipmnet.ru

Петрова Анна Георгиевна, 656015, Барнаул, АтлГУ, **тел.:** (3852)36-70-67, **e-mail:** annapetrova07@mail.ru

Пивоваров Юрий Владимирович, 630090, Новосибирск, пр. академика Лаврентьева, 15, ИГиЛ СО РАН, **тел.:** (383)333-30-46, **e-mail:** pivov@hydro.nsc.ru

Подымова Маргарита Юрьевна, 450000, Уфа, К. Маркса, 12, УГАТУ, кафедра КМ, **тел.:** (347)273-32-00, **e-mail:** margo_p_127@mail.ru

Полежаев Денис Александрович, 614990, Пермь, ПГПУ, **тел.:** (342)212-98-84, **e-mail:** polezhaev@pspu.ru

Полетаев Геннадий Михайлович, 656049, Алтайский край, Барнаул, АлтГТУ, кафедра общей физики, **тел.:** (3852) 29-08-52, **e-mail:** gmpoletaev@mail.ru

Потапов Игорь Иванович, 680000, Хабаровск, ВЦ ДВО РАН, **тел.:** 8-924-212-79-21, **e-mail:** potapovii@rambler.ru

Прозоров Олег Александрович, 344090, Ростов-на-Дону, ул. Мильчакова 8а, факультет математики, механики и компьютерных наук ЮФУ, **тел.:** (863)297-51-14-214, **e-mail:** oaprozorov@gmail.com

Проскурин Александр Викторович, 656049, Алтайский край, Баранул, АлтГТУ, кафедра прикладной математики, **тел.:** (3852)29-08-68, **e-mail:** k210@list.ru

Пухначёв Владислав Васильевич, 630090, Новосибирск, пр. ак. Лаврентьева 15, ИГиЛ СО РАН, **тел.:** (383)333-18-19, **e-mail:** pukhnachev@gmail.com

Разумов Сергей Олегович, Россия, 677010, г. Якутск, ул. Мерзлотная, 36, Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, **тел.:** 4112 390891, **e-mail:** razumov@mpi.ysn.ru

Рейн Татьяна Сергеевна, 650043, Кемерово, КемГУ, **тел.:** (3842)54-64-69, **e-mail:** rein@kemsu.ru

Рыжков Илья Игоревич, 660036, Красноярск, Академгородок, ИВМ СО РАН, **тел.:** (3912)90-75-28, **e-mail:** rii@icm.krasn.ru

Сагалаков Анатолий Михайлович, 656049, Алтайский край, Барнаул, АлтГТУ, кафедра высшей математики, **тел.:** (3852) 36-84-08, **e-mail:** amsagalakov@mail.ru

Салимьянов Артем Ринатович, 450000, Уфа, К. Маркса, 12, УГАТУ, кафедра КМ, **тел.:** (3472)73-32-00, **e-mail:** salim_pm25@mail.ru

Самойлова Анна Евгеньевна , 614990, Пермь, Букирева,15 Пермский Государственный Университет **тел.:** 89120688436, **e-mail:** kipish_ann@mail.ru

Сасорова Елена Васильевна, 117997, Москва, Нахимовский проспект 36, ИО РАН, **тел.:** (916)758-90-63, **e-mail:** sasorova-lena@mail.ru

Собачкина Н.Л., 660074, г. Красноярск, ул. Киренского, 26, ФГОУ ВПО Сибирский федеральный университет, **тел.:** (391) 2912594,

e-mail: sobachkinanat@mail.ru

Солонников В.А., V.A.Steklov Math. Inst., S.Petersburg, Fontanka 27, **тел.:** (812)-312 40 58, **e-mail:** solonnik@pdmi.ras.ru

Стенченко Павел Сергеевич, 656049, Алтайский край, Барнаул, АлтГТУ, кафедра высшей математики, **тел.:** (3852) 36-84-08

Терешко Дмитрий Анатольевич, 690041, Владивосток, ул. Радио, д. 7, ИПМ ДВО РАН, **тел.:** (4232)31-26-31, **e-mail:** ter@iam.dvo.ru

Тимофеева Мария Александровна, 450000, Уфа, К. Маркса, 12, УГАТУ, кафедра КМ, **тел.:** (347)273-32-00, **e-mail:** tim_mas@mail.ru

Ткачева Лариса Анатольевна, 630090 Новосибирск, пр. Лаврентьева, 15, ИГИЛ СО РАН, **тел.:** (383)333-29-36, **e-mail:** tkacheva@hydro.nsc.ru

Токарева Маргарита Андреевна, 656049, Барнаул, АлтГУ, **тел.:** (3852)36-70-67, **e-mail:** tma25@mail.ru

Фроловская Оксана Александровна, 630090, Новосибирск, пр. ак. Лаврентьева, 15, ИГиЛ СО РАН, **тел.:** (383)333-30-46, **e-mail:** oksana@hydro.nsc.ru

Хабахпашев Георгий Алексеевич, 630090, Новосибирск, пр-т Акад. Лаврентьева, 1, ИТ СО РАН, **тел.:** (383)316-50-35, **e-mail:** theory@itp.nsc.ru

Хабахпашева Татьяна Ивановна 630090, Новосибирск, ИГиЛ СО РАН, **тел:** (383)333-29-36, **e-mail:** tana@hydro.nsc.ru

Хеннер Михаил Викторович, 42101, Bowling Green, Kentucky, USA, Western Kentucky University, **e-mail:** mikhail.khenner@wku.edu

Хмелёв Владимир Николаевич, 659305, Бийск, БТИ АлтГТУ, **тел.:** (3854)43-25-81, **e-mail:** vnh@bti.secna.ru

Хмелёв Сергей Сергеевич, 659305, Бийск, БТИ АлтГТУ, **тел.:** (3854)43-25-70, **e-mail:** ssh@bti.secna.ru

Цвелодуб Олег Юрьевич, 630090, Новосибирск, пр-т Акад. Лаврентьева, 1, ИТ СО РАН, **тел.:** (383) 335-60-57, **e-mail:** tsvel@itp.nsc.ru

Черданцев Андрей Викторович, 630090, Новосибирск, пр. Лаврентьева, 1, ИТ СО РАН, **тел.:** (383)332-56-78, **e-mail:** cherdantsev@itp.nsc.ru

Чесноков Александр Александрович, 630090, Новосибирск, ИГиЛ СО РАН, **тел.:** (383)333-20-13, **e-mail:** chesnokov@hydro.nsc.ru

Чиннов Евгений Анатольевич, 630090, Новосибирск, ИТ СО РАН, **тел.:** (383)316-51-37, **e-mail:** chinnov@itp.nsc.ru

Чумаков Юрий Александрович, 634021, Томск, ИФПМ СО РАН, **: тел.:** (3822)28-68-31, **e-mail:** yura014@rambler.ru

Шалунов Андрей Викторович, 659305, Бийск, БТИ АлтГТУ, **тел.:** (3854)43-25-70, **e-mail:** shalunov@bti.secna.ru

Шамин Роман Вячеславович, 117997, Москва, Нахимовский проспект д.36, ИО РАН; 630090, Новосибирск, Новосибирский государственный университет, **тел.:** (499)124-75-65, **e-mail:** roman@shamin.ru

Шанин Сергей Александрович, Томск, ТПУ, **e-mail:** shanin_s@mail.ru

Шарыпов Олег Владимирович, 630090, Новосибирск, ИТ СО РАН; НГУ, **тел.:** (383)335-66-78, **e-mail:** sharypov@itp.nsc.ru

Шатский Евгений Николаевич, 630090, Новосибирск, ИТ СО РАН, **тел.:** (383)316-51-37, **e-mail:** shatskiy.itp@gmail.com

Шелухин Владимир Валентинович, 630090, Новосибирск, ИГиЛ СО РАН, **тел.:** (383) 3333399, **e-mail:** shelukhin@hydro.nsc.ru

Шишмарев Константин Александрович, 656049, Барнаул, Алт ГУ, **tel.:** (3852)36-70-67, **e-mail:** sismarewk@mail.ru

Шлычков Вячеслав Александрович, 630090, Новосибирск, Морской пр., 2, Институт водных и экологических проблем СО РАН (Новосибирский филиал), **тел.:** (383)330-84-84, **e-mail:** slav@ad-sbras.nsc.ru

Шмыров Андрей Викторович, 614013, Пермь, ул. Ак.Королёва, 1, Институт механики сплошных сред УрО РАН, **тел.:** +7(342)2378-314, **e-mail:** shmyrov@icmm.ru

Щекинова Елена Юрьевна, Германия D-27498, Хелголанд, Институт Альфреда Вегенера Полярных и Морских Исследований, **тел.:** +49 4725 - 819-3-268, **e-mail:** eshcheki@awi.de

Яворский Николай Иванович, 630090, Новосибирск, НГУ, ИТ СО РАН, **тел.:** (383) 330-30-11, (383) 330-90-60, **e-mail:** yavorsky@sesc.nsu.ru; nick@itp.nsc.ru

Ajaev Vladimir Sergeevich, Department of Mathematics, Southern Methodist University, Dallas TX 75275, USA **tel.:** (214)768-36-29, **e-mail:** ajaev@smu.edu

Bizhanova Galina Irzhanovna, 050010, Almaty, Pushkin str., 125, Institute of Mathematics, **tel.:** (727)2-72-59-91, **e-mail:** galina_math@mail.ru

Boudlal Abdelaziz, Laboratoire de Mecanique de Lille - UMR CNRS 8107, 59655 Villeneuve d'Ascq, France, **tel.:** +33 320436549, **e-mail:** abdelaziz.boudlal@univ-lille1.fr

Brey Thomas P., Germany, D-27515 Bremerhaven, Head of Funcional Ecology, Alfred-Wegener Institute for Polar and Marine Research, **tel.:** +49

471 4831 1300, **e-mail:** Thomas.Brey@awi.de

Kraberg Alexandra, Germany D-27498, Helgoland, Biologische Anstalt Helgoland, Alfred-Wegener Institute for Polar and Marine Research, **tel.:** +49(4725)819-3237, **e-mail:** Alexandra.Kraberg@awi.de

Prokert Georg, TU Eindhoven, Faculty of Mathematics and Computer Science, 5600 MB Eindhoven, The Netherlands, **tel.:** (0031) 40 247 2284 **e-mail:** g.prokert@tue.nl

Shmarev Sergey, Mathematics Department, University of Oviedo, c/Calvo Sotelo s/n, Oviedo 33007, Spain, **tel.:** +34 98 510 31 95, **e-mail:** shmarev@uniovi.es

Оглавление

Актершев С.П. Термокапиллярные волны в пленке жидкости 4
Актершев С.П. Теплоперенос в ламинарно-волновых стекающих пленках жидкости 4
Актершев С.П., Овчинников В.В. Моделирование динамики паровой полости при взрывном вскипании . . 5
Алабужев А.А. Влияние гистерезиса краевого угла на динамику цилиндрической капли 6
Алабужев А.А., Хеннер М.В. Параметрическое воздействие на конвекцию Марангони в тонкой пленке . . 7
Алексеев Г.В., Терешко Д.А. Анализ задач управления для моделей тепловой конвекции 8
Алексеенко С.В., Маркович Д.М., Черданцев А.В. Волновая структура кольцевых газожидкостных потоков 9
Андреев В.К. Однонаправленные двухслойные течения жидкостей и смесей в цилиндрических областях . . 10
Архипов Д.Г., Качулин Д.И., Цвелодуб О.Ю. Исследование нелинейного эволюционного уравнения для пленки жидкости, стекающей по вертикальной плоскости 11
Афанасьев К.Е., Рейн Т.С. Численное моделирование взаимодействия уединенных и ударных волн в вязкой жидкости с различными преградами 12
Ахмерова И.Г. Локальная разрешимость краевой задачи для уравнений одномерного движения двухфазной смеси 13
Батяев Е.А, Хабахпашева Т.И. Наклонное падение тела на тонкий слой жидкости 14

Бекежанова В.Б. Неустойчивость двухслойного термокапиллярного течения в условиях невесомости 15
Бирих Р.В. Моделирование концентрационной конвекции в областях с межфазной границей: особенности постановки граничных условий 16
Боднарь Т.А. Закон сохранения полной механической энергии и устойчивость установившихся волн на поверхности жидкости конечной глубины 17
Бочаров А.А., Хабахпашев Г.А., Цвелодуб О.Ю. Численное определение трехмерных стационарно бегущих возмущений на свободной границе слоя жидкости . 18
Брацун Д.А., Луцик А.И., Мизев А.И. Динамика формирования поверхностной фазы в бинарных растворах пав 19
Будлаль А., Ляпидевский В.Ю. Устойчивость катящихся волн в пленочных течениях на наклонной плоскости 20
Бушуева К.А., Костарев К.Г. Эволюция слоя феррожидкости на жидкой подложке и его устойчивых разрывов под действием магнитного поля 21
Веденеев В.В. Устойчивость упругой пластины в сдвиговом слое газа 22
Вертгейм И.И., Кумачков М.А. Конвекция Марангони от локализованного теплового источника 23
Воеводин А.Ф., Гончарова О.Н. Метод расчета задач конвекции на основе расщепления по физическим процессам 24
Воеводин А.Ф., Гранкина Т.Б. Математическое моделирование ледотермического режима пресных и соленых водоемов 25
Гаврилов К.А. О методе моделирования крупных вихрей для когерентных структур над растительным пологом 26
Гаврилов Н.В., Ляпидевский В.Ю. Распространение поверхностных и внутренних волн большой амплитуды в прибрежной зоне: теория и эксперимент . . 27
Гасенко В.Г. Свободная ламинарная конвекция в вертикальном полукруглом канале 28
Головин С.В. Струйные МГД течения со свободной границей 29

Демидов В.Н. Численный анализ волновых эффектов, сопутствующих тепловому удару 30
Денисова М.О., Костарев К.Г. Влияние свойств ПАВ на развитие конвекции Марангони на свободной конвекции 31
Доманский А.В. Математическое моделирование процессов грязевого вулканизма 32
Донская В.В., Жуков М.Ю. Конвекция сверхтекучей жидкости в плоском слое со свободной границей . . 33
Ермаков М.К. Потеря устойчивости термокапиллярного течения при больших числах Прандтля 34
Ерманюк Е.В., Флор Я.-Б. Генерация и обрушение внутренних волн при горизонтальных колебаниях тора . 35
Житников В.П., Муксимова Р.Р., Салимьянов А.Р. Формообразование границ при нестационарной электрохимической обработке круглым электрод-инструментом 36
Жуков В.Е., Павленко А.Н., Моисеев М.И. Экспериментальное исследование влияния наноразмерных частиц SiO_2 во фреоне-21 на скорость распространения самоподдерживающегося фронта испарения . 37
Журавлева Е.Н., Карабут Е.А. Нагруженные комплексные уравнения в задачах со свободной границей . . 38
Захаров В.Е. Уравнение для квази-одномерных поверхностных волн 39
Зеньковская С.М. Об осредненных уравнениях вибрационной конвекции и некоторых вибрационных эффектах 39
Зеньковская С.М., Новосядлый В.А. Влияние высокочастотной вибрации на возникновение термокапиллярной конвекции в двухслойной системе 40
Зубарев Н.М. Динамика поверхности раздела диэлектрических жидкостей в электрическом поле 41
Зубарева О.В., Зубарев Н.М. Равновесные конфигурации поверхности проводящей жидкости в магнитном поле проводника с током 42
Иванцов А.О. Динамика капли жидкости на подложке при высокочастотных вибрациях 43

Кан Су Ман, Яворский Н.И. Управление процессами разделения бинарной смеси в вихревой трубе 44
Карабцев С.Н. Математическое моделирование процессов обрушения и последующего распространения нелинеынй уединенных волн в прибрежной зоне 46
Князева А.Г. Эффект бародиффузии при перераспределении элементов в условиях ионной имплантации . 47
Ковалевская К.В., Любимова Т.П. Возникновение тепловой конвекции вязкоупругой жидкости в замкнутой полости со свободными границами 48
Козлов В.Г., Полежаев Д.А. Вибрационные потоки и их устойчивость в центрифугированном слое 49
Коробкин А.А. Отрыв свободной поверхности жидкости от подвижной вертикальной стенки 50
Костарев К.Г., Шмыров А.В., Бушуева К.А. Диффузия ПАВ из капли, соединенной с резервуаром 51
Крипакова М.В., Князева А.Г., Гончаренко И.М. Рост покрытия в условиях вакуумно-дугового метода: теория и эксперимент 52
Кузнецов В.В. Движение жидкой пленки в щелевом микроканале 53
Кузнецов Е.А. Бифуркации солитонов внутренних волн . 54
Куйбин П.А., Шарыпов О.В. Эффекты инерции и термокапиллярности в неизотермических пленках 55
Куперштох А.Л. Параллельные вычисления на графических ускорителях при моделировании двухфазных систем методом LBE 56
Лаврентьева О.М., Розенфельд Л., Нир А. Деформация составной капли при термокапиллярном движении 57
Левин Б.В., Сасорова Е.В., Доманский А.В. О возможном вкладе эффектов вращения Земли в геодинамику . 58
Лемешкова Е.Н. Однонаправленное движение трех вязких жидкостей в плоских слоях 59
Любимов Д.В., Любимова Т.П., Лобов Н.И. Устойчивость Релея-Бенара-Марангони в слое жидкости с деформируемой свободной поверхностью 59
Любимова Т.П., Любимов Д.В., Иванцов А.О. Моделирование динамики газовых включений в гидратонасыщенной пористой среде 60

Любимова Т.П., Паршакова Я.Н. Возникновение конвекции в двухслойной системе жидкостей с деформируемой поверхностью раздела и заданным тепловым потоком на внешних границах 61
Макаренко Н.И., Костиков В.К. Неустановившееся движение эллиптического цилиндра под свободной поверхностью 62
Макеев О.В., Логинов Б.В, Андронов А.Н. Комплекс программ определения разветвляющихся решений и их устойчивости в теории капиллярно-гравитационных волн 63
Марчук И.В. Определение поверхностного натяжения и контактного угла смачивания по форме поверхности пузырей и капель 64
Мизёв А.И., Бирих Р.В. Конвективные течения при наличии неоднородности распределения ПАВ вблизи границы раздела 65
Мизёв А.И., Брацун Д.А., Луцик А.И. Взаимодействие поверхностного течения с адсорбированной пленкой 66
Миколайчук М.А., Князева А.Г. Формирование диффузной зоны между покрытием и подложкой в условиях изотермического отжига под нагрузкой 67
Моргулис А.Б., Владимиров В.А. Об одной гидродинамической характеризации шара 68
Мулляджанов Р.И., Яворский Н.И. О задаче устойчивости для затопленной струи 69
Накоряков В.Е., Мисюра С.Я. Об особенностях испарения капель воды и водно-спиртовых смесей на поверхности нагрева 70
Осипов С.В. Математическое моделирование процессов извлечения нефти при фазовых превращениях (пиролизе керогена) под воздействием тепла 72
Остапенко В.В., Карабут П.Е. Метод последовательных приближений решения задачи о распаде разрыва малой амплитуды 73
Остапенко В.В., Ковыркина О.А. О реальной точности разностных схем сквозного счета 74
Папин А.А., Токарева М.А. Фильтрация сжимаемой жидкости в вязкоупругой горной породе 75

Перминов А.В. Длинноволновая неустойчивость стекания пленки нелинейно-вязкой жидкости 76
Петров А.Г. Механизмы слияния и дробления пульсирующих в жидкости газовых пузырьков границей . . 77
Петрова А.Г., Коробкин А.А. Математическое моделирование течения парафинированной нефти в подводном трубопроводе 78
Пивоваров Ю.Б. Расчет движения капли в пластической среде 79
Подымова М.Ю., Тимофеева М.А. Формообразование мягкой оболочки при обтекании вблизи экрана . . . 80
Полетаев Г.М., Сагалаков А.М., Стенченко П.С. Ляпуновская и структурная неустойчивости в задачах молекулярной динамики 81
Потапов И.И. О моделировании русловых процессов в реках с песчаным дном 81
Прозоров О.А. О возникновении вибрационной конвекции в слое со свободной недеформирующейся поверхностью 82
Проскурин А.В., Сагалаков А.М. О решении линейных задач устойчивости непараллельных течений . . . 83
Проскурин А.В., Сагалаков А.М. Устойчивость плоского течения Пуазейля в продольном магнитном поле . . 84
Пухначёв В.В. Точные решения уравнений термокапиллярной конвекции 85
Разумов С.О., Григорьев М.Н. Моделирование динамики льдистых берегов дельты р. Лены в нестационарных климатических условиях 85
Рыжков И.И. О термокапиллярной неустойчивости в жидком цилиндре 86
Самойлова А.Е. Слабонелинейный анализ колебательной неустойчивости плоского слоя жидкости с деформируемой поверхностью 88
Собачкина Н.Л. О совместном движении бинарной смеси и вязкой жидкости в теплоизолтрованной цилиндрической трубе 89
Солонников В.А. Об устойчивости жидкости, равномерно вращающейся в слабом магнитном поле 90

Ткачева Л.А. Удар ящика по тонкому слою жидкости под малым углом 90
Фроловская О.А., Непомнящий А.А. Устойчивость двухслойной системы слабосжимаемой бинарной жидкости с диффузной границей раздела 91
Хабахпашева Т.И., Коробкин А.А. Эффект захвата воздуха в задаче об ударе жидкостью по упругой пластине 92
Хмелёв В.Н., Голых Р.Н., Хмелёв С.С., Барсуков Р.В., Шалунов А.В. Выявление оптимальных условий и режимов акустического воздействия на вязкие и дисперсные среды 93
Чесноков А.А. Свободные колебания стратифицированной жидкости во вращающемся бассейне 94
Чиннов Е.А., Кабов О.А. Течение двухфазного потока в микроканалах 95
Чумаков Ю.А., Князева А.Г. Роль теплового расширения в разложении вязкой жидкости в окрестности горячей частицы 96
Шамин Р.В. Моделирование волн-убийц: качественное исследование и предсказание 97
Шанин С.А., Князева А.Г. Распределение ионов в плазме в условиях магнетронного осаждения покрытия . . 97
Шатский Е.Н., Чиннов Е.А. Воздействие термокапиллярных эффектов на волновое движение пленок жидкости 98
Шелухин В.В. Свободные границы в задачах бурения скважин с учетом напряжений в насыщенной пористой среде 99
Шишмарев К.А. Тепломассоперенос в тающем снеге 100
Шлычков В.А. Состав и структура математических моделей для описания речного стока и процессов в эстуариях сибирских рек 101
Шмыров А.В., Костарев К.Г. Динамика разрыва слоя жидкости на жидкой подложке 102
Щекинова Е.Ю., Краберг А., Буссманн И., Боерсма М., Вилтшире К. Анализ устойчивости биоконвекции в среде с переменной пористостью 102
Ajaev V.S., Brutin D., Tadrist L., Evaporation and gravity-driven flow of liquid film on a heated surface 103

Bizhanova G.I. Solution of the singularly perturbed free boundary problem for the system of parabolic equations in the Hölder spaces 104
Thomas P. Brey, Karen H. Wiltshire Modeling challenges in coastal research of the Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research 105
Kraberg A., Bussmann I., Loeder M., Wiltshire K. The plankton community of the Lena Delta in relation to hydrographic conditions 105
Prokert G. Justifying the Thin Film Approximation: A Rigorous Limit Result for Stokes Flow driven by Surface Tension 106
Shmarev S.I. Dynamics of supports of solutions to anisotropic parabolic equations with nonstandard growth 107
Сведения об авторах 109

Подписано в печать 08.06.2011. Формат 60×84/16. Офсетная печать.
Усл. печ. л. 8.0 Объём 8.0 п.л. Тираж 150 экз. Заказ N 73

Лицензия ПД N 12-0143 от 22.10.2001
Отпечатано на полиграфическом участке
Института гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН,
630090, Новосибирск, проспект акад. Лаврентьева, 15.

Подписано в печать 08.06.2011. Формат 60×84/16. Офсетная печать.
Усл. печ. л. 7.0 Объём 7 п.л. Тираж 35 экз. Заказ N 75

Лицензия ПД N 12-0143 от 22.10.2001
Отпечатано на полиграфическом участке
Института гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН,
630090, Новосибирск, проспект акад. Лаврентьева, 15.