



Институт механики
им. Р.Р.Мавлютова
Уфимского научного центра РАН

Предисловие

Представленный сборник Трудов Института механики им. Р.Р. Мавлютова Уфимского научного центра Российской академии наук предназначен для научных работников, инженеров-исследователей, аспирантов и студентов старших курсов, занимающихся прикладной математикой, механикой, теорией управления, разработкой новых технологий, а также диагностикой технических систем.

Труды в значительной мере отражают тематический диапазон исследований, проводимых сотрудниками Института, а также результаты совместных работ с организациями-партнерами.

Научные статьи в настоящем сборнике можно условно разделить на четыре раздела:

- 1) аналитические и вычислительные методы механики сплошных сред;
- 2) управление в технических системах и робототехника;
- 3) математическое моделирование технических систем;
- 4) гидродинамика дисперсных систем и термовязких жидкостей.

В первом разделе развитие аналитических методов газовой динамики представлено в работах С.В. Хабирова, Р.Ф. Шаяхметовой, Ю.В. Юлмухаметовой. В задачах газовой динамики иногда возникают переопределенные системы дифференциальных уравнений, нахождение решений которых возможно путем приведения в инволюцию. Построению решения для плоского изотермического движения газа при отсутствии расширений посвящена работа С.В. Хабирова, в которой решение исходной системы записывается в итоге с точностью до преобразований из некоторой группы, допускающей переносы, галилеевы переносы, вращения, растяжения и отражения. Частное решение уравнений газовой динамики для одноатомного газа при его расширении в вакуум было исследовано в работе Р.Ф. Шаяхметовой. Установлено, что движение частиц в рассматриваемом случае происходит по гиперболам, лежащим на эллиптическом конусе. Инвариантные подмодели ранга 2, допускающие оператор вращения, изучены в работе Ю.В. Юлмухаметовой. Показано, что рассмотренные инвариантные подмодели сводятся к одному обыкновенному дифференциальному уравнению второго порядка.

Вычислительный эксперимент для детального исследования течения эмульсий с учетом деформации капель с применением метода граничных элементов поставлен в работе О.А. Абрамовой, Ю.А. Иткуловой и др. При расчете относительной вязкости эмульсии в сдвиговом течении получено хорошее согласование с известной асимптотической формулой. Аналогичная вычислительная процедура была предложена Ю.А. Иткуловой, О.А. Абрамовой и др. в статье по моделированию динамики сжимаемых пузырьков в акустическом поле. Следует обратить внимание на один интересный аспект работы: для учета изменения объема пузырьков, распределенных в пространстве, был применен принцип взаимности Лоренца, позволяющий устанавливать перекрестную связь между двумя источниками и создаваемыми ими поля-

ми, в данном случае, акустическими. Обе работы для ускорения расчетов выполнены на графических процессорах с использованием технологии CUDA.

В работе В.Л. Малышева, Д.Ф. Марьина, Е.Ф. Моисеевой и др. предложена вычислительная процедура определения поверхностного натяжения одноатомных веществ методами молекулярной динамики. В работе получен, допустимый с точки зрения соответствия результатов расчета экспериментальным данным, радиус обрезки используемого потенциала Леннарда-Джонса.

Для расчета образования турбулентного следа за твердым цилиндрическим препятствием в работе К.И. Михайленко и В.С. Кулешова предложен эффективный алгоритм и компьютерный код с использованием технологии параллелизма MPI.

Второй раздел содержит работы, связанные с построением интеллектуальных систем управления коллективами роботов и аппаратным воплощением алгоритмов управления роботами и их периферийными устройствами. Планированию перемещений мобильных роботов посвящена статья О.В. Даринцева и А.Б. Мигранова. В этой статье предложен алгоритм двухуровневой системы планирования траекторий.

В статье А.Ю. Алексеева рассмотрена система информационных маркеров для контроля состояния коллектива мобильных роботов с централизованным управлением.

Для расширения функциональных требований к микроэлектромеханическим системам (МЭМС) предлагается применение оригинальных активных элементов таких, как микрозахваты, разработанные в Институте механики им. Р.Р. Мавлютова УНЦ РАН. В статье О.В. Даринцева, Д.Р. Богданова и Е.О. Даринцевой для организации корректного управления капиллярным микрозахватом описано построение многоканальной системы сбора и обработки информации.

Третий раздел объединяет работы, связанные с диагностикой и теоретическим исследованием функционирования технических систем с целью определения их параметров и эксплуатационных режимов.

В статье А.А. Аитбаевой на основе решения обратной задачи теории колебаний построен алгоритм аналитического определения коэффициента постели для балки, лежащей на упругом основании. Показано, что для нахождения коэффициента постели достаточно одной собственной частоты.

В работе А.Г. Хакимова решение обратной задачи позволило определить координату ступени, отношение полярных моментов инерции ступеней и интенсивность присоединенной распределенной массы по трем нижшим частотам свободных крутильных колебаний ступенчатого стержня.

Для согласования динамических характеристик газотурбинных двигателей и топливной автоматики в цепях устойчивого управления беспилотным летательным аппаратом в статье Е.В. Денисовой и М.А. Черниковой представлена методика построения линии автомата разгона с введени-

ем дополнительного параметра, вносящего конструктивно-режимное ограничение на траекторию разгона.

При создании различных агрегатов и узлов летательных аппаратов для определения режимов их функционирования используются исследовательские стенды. В работе И.Ш. Насибуллаева, Э.Ш. Насибуллаевой и Е.В. Денисовой разработана схема полного факторного вычислительного эксперимента для построения и имитации работы натурального стенда, включающего возможность исследования влияния различных видов трения на режимы работы агрегата дозирования топлива.

Для исследования динамических нагрузок на шток станка-качалки в процессе эксплуатации нефтедобывающей скважины с учетом возможной неисправности штангового насоса в статье А.С. Топольникова построена математическая модель, объединяющая уравнения для определения динамических нагрузок в упруго-деформируемой штанговой колонне, давления в подплунжерном пространстве и параметров многофазного потока в насосно-компрессорных трубах. Проведено сопоставление расчетных диаграмм с результатами измерений, продемонстрировавшее удовлетворительное их согласование.

Работы, представленные в четвертом разделе, посвящены изучению влияния межфазных взаимодействий или реологических свойств жидкостей на особенности режимов течения и распространения волн.

Экспериментальные исследования течения дисперсных систем различной природы в микроканалах представлены в статье А.Т. Ахметова и др. Использование микрожидкостных устройств позволило визуализировать деформацию частиц дисперсной фазы, приводящую к резкому увеличению гидравлического сопротивления течению эмульсий в области сужения канала. Это явление, обнаруженное ранее, получило название эффекта динамического запираания. Результат визуализации позволил установить механизм данного эффекта, заключающийся в том, что при деформации капель увеличивается удельная поверхность соприкосновения частиц дисперсной фазы и, как следствие, возрастает внутреннее трение в эмульсии. В статье описаны зависимости динамического запираания от различных факторов, выполнены исследования течения прямых и обратных эмульсий в микроканалах различной конфигурации. Особое внимание уделено динамическому запираанию при течении крови.

Вопросы техногенной безопасности занимают значительное место при математическом моделировании многофазных потоков. В этой связи в статье Р.Х. Болотновой, У.О. Агишевой и В.А. Бузиной рассмотрены задачи о взрывном истечении паро-газожидкостной смеси из сосуда высокого давления и о воздействии волнового импульса на цилиндрическую область, заполненную пузырьковой жидкостью. При численном исследовании первой задачи получено качественное согласование с экспериментальными данными других авторов. Решение второй задачи позволило установить возможность фокусировки волн давления и, как следствие, повышения температуры газа (в расчетах использовался азот) в пузырьках до двух с половиной тысяч градусов.

Распространение локализованного импульса в пузырьковой жидкости рассмотрено в работе И.К. Гималтдинова и М.Н. Галимзянова. Отмечается выраженная зависимость характера распространения импульса от его начального распределения в пространстве.

В работе Т.Т. Лугуманова и В.С. Кулешова приведен обзор литературы по моделированию кластерообразования в системе жидкость-дисперсные частицы при течении мно-

гофазных сред. Описаны принципы построения математических моделей, определены параметры, характеризующие состояние системы и межфазные взаимодействия. Особое внимание уделено фрактальным моделям.

Исследованию особенностей самоорганизации пузырьков с учетом диффузионных процессов при акустической кавитации посвящена статья Е.В. Бутюгиной, Э.Ш. Насибуллаевой и др. Поскольку явление самоорганизации обусловлено взаимным влиянием внешнего акустического поля и поля, возбуждаемого осциллирующим пузырьком, фактор устойчивости пузырька оказывается доминирующим при образовании кластеров в пузырьковой жидкости. Устойчивость пузырька, в свою очередь, связана с диффузией газа на границе жидкость-газ. Однако решение задачи в полной постановке сопряжено со значительными вычислительными сложностями. В указанной работе предлагается алгоритм решения задачи о колебаниях одиночного пузырька в акустическом поле с учетом диффузии. Консервативная разностная схема для уравнения диффузии построена исходя из непрерывности диффузионного потока. В работе показано, что для корректного описания физической картины, наблюдающейся в экспериментах по акустической кавитации, принципиальным моментом является использование полностью консервативной схемы.

Образование периодических структур и их эволюция являются важнейшим свойством сложных гидродинамических систем. К таким системам относятся, в частности, воды морей и океанов, рабочие среды при решении задач биотехнологии, химической промышленности, хранения жидких углеводородов и др. Для перечисленных систем характерно наличие солей и примесей, растворенных в несущей среде, обуславливающих ее стратификацию. Боковой подогрев в таких системах в поле силы тяжести приводит к возникновению локализованных по высоте конвективных течений, в результате которых образуются «тонкие структуры». Явление получило название термохалинной или термоконцентрационной конвекции. Характер стратификации среды при этом меняется от непрерывного распределения плотности до кусочно-постоянного. Систематические исследования этого интересного явления были начаты в работе Стоммеля и Федорова (H.Stommel, K.N.Fedorov, 1967), изучавших морские течения. В статье К.В. Моисеева, С.Ф. Хизбуллиной и Р.Н. Бахтизина предложена математическая модель для исследования явления термоконцентрационной конвекции в соленой жидкости при наличии различных примесей. Численные исследования позволили установить, что после образования конвективных структур, дальнейший подогрев приводит к их деформации, разрушению и возникновению глобальной в масштабах рассматриваемой области конвекции.

В статье А.Д. Низамовой рассмотрена задача о влиянии зависимости вязкости жидкости от температуры на устойчивость ее течения в плоском канале. Для определения гидродинамической устойчивости с учетом температурного фактора полная система уравнений термогидродинамики была приведена к системе двух обыкновенных дифференциальных уравнений, которые в частном случае постоенной вязкости сводятся к известному уравнению Орра-Зоммерфельда. Исследования обобщенной спектральной задачи позволили установить, что область неустойчивых решений в случае учета зависимости вязкости от температуры увеличивается, а критическое число Рейнольдса, соответственно, уменьшается.

Д.ф.-м.н., профессор
Саид Федорович Урманчев