

25

ИНСТИТУТУ МЕХАНИКИ
УФИМСКОГО
НАУЧНОГО ЦЕНТРА
РОССИЙСКОЙ
АКАДЕМИИ НАУК





Визуально-хронологический альбом посвящен юбилею Института механики имени Р. Р. Мавлютова Уфимского научного центра Российской академии наук. В нем нашли отражение вехи истории становления Института, его достижения за все время существования, некоторые подробности биографий сотрудников, яркие события в жизни Института и его сотрудников. Для специалистов и широкого круга читателей, интересующихся проблемами науки, в частности, механики жидкости, газа и плазмы, механики твердого тела, робототехники и управления в технических системах.



Глубокоуважаемые коллеги и друзья!

Институт механики имени Р. Р. Мавлютова Уфимского научного центра Российской академии наук отмечает своё 25-летие! Четверть века позади. Это возраст, когда можно подвести первые итоги и осмыслить достигнутое.

В юбилейные дни мы с благодарностью вспоминаем основателя нашего Института, его первого директора — Рыфата Рахматулловича Мавлютова и всех, кто вместе с ним стоял у истоков, участвовал в его формировании и дальнейшем становлении, вкладывал душу в строительство прочного фундамента. Ведущими отраслями народного хозяйства Республики являлись нефтедобыча, нефтепереработка и транспортировка энергоресурсов. Они и определили необходимость создания в регионе опорного института для решения возникающих в этой области научных задач. Спустя четверть века цели и задачи, заложенные при создании, не теряют свою актуальность.

За годы своего существования Институт сформировал три мощные научные школы, широко известные российской науке, выпускники которых работают в ведущих научных центрах по всему миру, а исследования нашли свое отражение в виде публикаций в изданиях мирового уровня, таких как *Science*, *Shock Waves*, *Heat And Mass Transfer* и др. Расширение круга рассматриваемых задач и повышение уровня научных сотрудников привело к необходимости организации и проведения специализированной всероссийской конференции с международным участием «Многофазные системы» и началу выпуска одноименного научного журнала.

Меняются времена, меняются задачи и требования, предъявляемые к научным учреждениям и науке в целом. Институт своевременно реагирует на изменение требований к качеству исследований, выходя на уровень *Web Of Science* и *Scopus*. В последние годы было увеличено число совместных исследований с российскими и мировыми центрами по тематике исследований Института. Нарботанный за годы существования научный задел, включающий не только публикации, но и кадровый потенциал Института, дает возможность уверенно смотреть в будущее и браться за решение задач, направленных на укрепление нефтедобывающей отрасли Республики Башкортостан.

Уважаемые коллеги, нам есть что помнить, чем гордиться и что передавать подрастающему поколению ученых. В эти праздничные дни желаю Вам творческих успехов и новых достижений на благо науки!



Создание института



Член-корр. РАН
Рыфат Рахматуллович Мавлютов

Инициатива создания в Уфе академического института в области механики принадлежала выдающемуся ученому и организатору науки и высшей школы России, члену-корреспонденту РАН Рыфату Рахматулловичу Мавлютову.

Институт механики Уфимского научного центра РАН был организован Постановлением Президиума РАН № 208 от 23 июня 1992 года по представлению Президиума Уральского отделения РАН. Постановление было подписано Президентом Российской академии наук академиком Ю.С. Осиповым и Главным ученым секретарем РАН академиком И.М. Макаровым. В Постановлении отмечалась необходимость развития исследований в области механики, диктуемая потребностями научно-технического обеспечения южной части Уральского региона. В качестве основных направлений научной деятельности Института были обозначены:

- ◆ деформирование элементов конструкций из упругих и упруговязкопластических материалов при сложном нагружении;
- ◆ нестационарные процессы в гетерогенных средах с физико-химическими и структурными превращениями;
- ◆ нелинейные механические системы со многими степенями свободы и синтез многосвязных многофункциональных систем управления.

В том же Постановлении директором Института механики был назначен член-корреспондент РАН Р.Р. Мавлютов.

Институт механики создавался на базе профильных научно-исследовательских подразделений



Башкирского научного центра Уральского отделения РАН и Уфимского авиационного института.

Р.Р. Мавлютов до создания Института механики более тридцати лет возглавлял Уфимский авиационный институт (ныне Уфимский государственный авиационный технический университет). Ему принадлежала заслуга создания на базе профилирующих кафедр высшего учебного заведения мощного научного комплекса для проведения исследований в различных областях науки и техники. Он сам возглавлял кафедру сопротивления материалов, занимающую центральное место в любом техническом ВУЗе. Научно-исследовательская работа на кафедре складывалась в тесном сотрудничестве с И.А. Биргером — крупным учёным в области создания методов исследования напряжённо-деформированного состояния конструкций с учётом пластичности и ползучести. Одним из основных научных направлений кафедры стало исследование концентраций напряжений в элементах авиационных конструкций. Здесь наиболее значительный вклад при решении поставленных задач внесли Р.Р. Мавлютов, Г.Б. Иосилевич, В.С. Куликов, В.С. Жернаков, Т.Н. Мардимасова, И.В. Рокитянская. Этот коллектив был одним из первых в стране, которому удалось создать алгоритмы решения задач механики деформируемых твёрдых тел, основанные на методе конечных элементов. С помощью созданного ими комплекса программ были проведены трудоёмкие исследования разнообразных деталей авиационных двигателей, содержащих области концентрации напряжений и деформаций. Были разработаны соответствующие методики для учёта пластических свойств материалов и высокотемпературной ползучести.

В начале 70-х годов прошлого века в Уфимском авиационном институте по инициативе академика Б.Н. Петрова и при поддержке ректора УАИ Р.Р. Мавлютова была создана Отраслевая лаборатория Министерства авиационной промышленности СССР «Системы автоматического управления газотурбинными двигателями». Научным руководителем лаборатории был назначен зав.кафедрой «Промышленная электроника» д-р техн. наук проф. Гусев Ю.М., а одним из ведущих сотрудников был молодой канд. техн. наук доцент Ильясов Б.Г., ученик и последователь Петрова Б.Н. Творческий коллектив, созданный их усилиями, состоял не только из научных сотрудников, но также из аспирантов и студентов. Кроме того, в него входили инженеры ведущих авиационных предприятий

Чел.-К. Мельникову Р.Р. 32

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

ПРЕЗИДИУМ

ПОСТАНОВЛЕНИЕ

*постановле-
ние направлено
по всем лабора-
ториям и от-
делам
3.06.92,*

23 июня 1992 г.

№ 208

Москва

Об организации Института
механики Уральского отде-
ления РАН /представление
Президиума Уральского
отделения/

Президиум Российской академии наук ПОСТАНОВЛЯЕТ:

1. В соответствии с ходатайством Президиума Уральского отделения РАН и в связи с необходимостью развития исследований в области механики и управления, диктуемой потребностями научно-технического обеспечения южной части Уральского региона, организовать в г.Уфе Институт механики Уральского отделения РАН на базе научно-исследовательских подразделений Башкирского научного центра Уральского отделения РАН и Уфимского авиационного института.

2. Утвердить следующие основные направления научной деятельности Института механики Уральского отделения РАН:

деформирование элементов конструкции из упруго-вязкопластических материалов при сложном термосиловом нагружении с учетом физико-химических превращений;

нестационарные процессы в гетерогенных деформируемых твердых телах и некомпактных средах с физико-химическими и структурными превращениями;

нелинейные механические системы со многими степенями свободы и синтез многосвязных многофункциональных систем

управления.

3. Возложить научно-методическое руководство Институтом механики Уральского отделения РАН на Отделение проблем машиностроения, механики и процессов управления РАН.

4. Назначить члена-корреспондента РАН Мавлютова Рыфата Рахматулловича исполняющим обязанности директора Института механики Уральского отделения РАН с последующим утверждением в установленном порядке.

Президент
Российской академии наук
академик П. С. Осипов

Главный научный секретарь
Российской академии наук
академик И. М. Макаров



Академик РАН
Роберт Искандерович Нигматулин

города Уфы (НПП «Мотор», ФГУП «Молния»), сотрудники 201 и 301 кафедр МАИ, ЦИАМ.

Когда на ряд машиностроительных и авиационных предприятий Постановлением правительства СССР были возложены задачи по разработке новых видов вооружений для ВМФ, работы по проектированию системы автоматического управления (САУ) для силовой установки были поручены коллективу этой лаборатории. Проектирование нового комплекса для подводного старта осуществлялось под руководством академика В.Н. Челомея. В качестве двигателя использовался специально разработанный короткоресурсный турбореактивный двигатель. В дальнейшем появились модификации с прямоточным воздушно-реактивным двигателем. Впервые была решена сложнейшая задача управления запуском двигателя за минимально возможное время при выходе ракеты из-под воды. Был проработан также вариант запуска двигателя с режимов неустановившейся авторотации. Также впервые была реализована электронно-гидравлическая система автоматического управления силовой установкой летательного аппарата — крылатой ракеты.

Одновременно на базе НПП «Мотор» сотрудниками лаборатории и предприятия был создан полунатурный стенд для исследования систем автоматического управления различными режимами двигателя во всем диапазоне условий применения, в том числе и на нештатных режимах.

По мере сокращения оборонных заказов лаборатория практически прекратила свое существование, однако основной накопленный научный потенциал усилиями д-р техн. наук профессора Б.Г. Ильёва удалось сохранить при кафедре «Техническая кибернетика» УГАТУ, которой он заведует с 1985 года. В дальнейшем, накопленный при решении задач управления летательными аппаратами опыт стал необходим для создания робототехнических систем и комплексов.

В Отделе физики и математики Башкирского филиала АН СССР (ОФМ БФ АН СССР) еще в 1975 году под руководством профессора Московского университета Р.И. Нигматулина была создана исследовательская группа, первоначально состоявшая из выпускников механико-математического факультета МГУ — Наиля Ахметовой, Владислава Шагапова и Альфира Ахметова, окончившего физический факультет МГУ. Чуть позднее к ним присоединился Наиль Ахмаде-



ев — выпускник Уфимского авиационного института. Усилия группы при самом деятельном участии Р.И. Нигматулина были сосредоточены на решении задач в области механики многофазных сред. Первые значительные успехи были достигнуты при создании численной модели распространения ударных волн в твёрдых телах с фазовыми переходами (Н.Х. Ахмадеев, Н.А. Ахметова). С использованием оригинальной вычислительной программы были впервые теоретически установлены параметры и структура ударных волн, соответствующие данным экспериментальных измерений. Параллельно велись интенсивные исследования эволюции ударных волн в пузырьковых средах с учётом теплообменных процессов (В.Ш. Шагапов). Большое значение для нефтеперерабатывающей промышленности имело решение задачи об установлении параметров закризисного теплообмена установки замедленного коксования в производстве нефтяного кокса методами математического моделирования (Шагапов В.Ш., Шагиев Р.Г.). Исследования позволили определить режимы функционирования трубчатых реакторов, в которых исключается коксование внутренних стенок обогреваемых каналов, приводящее к их «склерозу». За цикл исследований в области механики многофазных сред авторы этих работ — Ахмадеев Н.Х., Ахметова Н.А., Шагапов В.Ш., Шагиев Р.Г. — были удостоены Премии Ленинского комсомола БАССР за 1978 год. К этому времени группа, большинство членов которой уже получили степень кандидата физико-математических наук, была преобразована в лабораторию механики многофазных сред — структурное подразделение ОФМ Башкирского филиала АН СССР. Научным руководителем лаборатории был назначен Р.И. Нигматулин.

В последующие годы в лаборатории начали свою научную деятельность по окончании физического факультета Башгосуниверситета Анвар Кутушев и Наиль Вахитова, а также закончившая мехмат Московского университета Раиса Болотнова и Саид Урманчев — выпускник Московского энергетического института. А.Г. Кутушев занимался вопросами численного моделирования процессов распространения ударных волн в газозвзвях и парогазокапельных средах, Н.К. Вахитова под руководством В.Ш. Шагапова провела цикл исследований по ударным и детонационным волнам в пузырьковых системах. Р.Х. Болотнова и С.Ф. Урманчев совместно с Н.Х. Ахмадеевым выпол-



нили серию работ по динамическому разрушению твёрдых тел с учётом фазовых переходов. Несколько лет в лаборатории работал Наиль Гумеров — выпускник мехмата МГУ, там же блестяще защитивший кандидатскую диссертацию. Он, будучи одарённым молодым человеком, тяготел к решению наиболее сложных теоретических задач механики многофазных сред.

Следует отметить, что лаборатория в составе ОФМБФ АН СССР была лишь частью коллектива единомышленников, работавших в области механики многофазных сред. Успехи сотрудников лаборатории и учеников Р.И. Нигматулина из других организаций города, свидетельствовали об образовании уфимской школы по механике многофазных сред. Как и во всех действующих научных школах, центром притяжения служил научный семинар. Его наиболее активными участниками были также Амир Губайдуллин (УАИ) и Константин Фёдоров (БГУ), окончившие в разное время аспирантуру Института механики МГУ под руководством Р.И. Нигматулина.

А.А. Губайдуллин является автором оригинальной математической модели и вычислительной программы для исследования волновых процессов в пузырьковых системах. Адекватность модели и искусство вычислителя позволили ему провести серию расчётов, по результатам которых было дано объяснение ряду физических эффектов, например, экспериментально обнаруженному усилению ударных волн, распространяющихся в жидкостях с пузырьками газа. К.М. Фёдоров в тот период разработал одну из первых численных моделей мицеллярно-полимерного заводнения нефтяного пласта на основе идей и методов механики многофазных сред, послужившую основой для исследования особенностей многофазной фильтрации в процессах добычи нефти.

Несколько позднее, в 1979 году в ОФМ была создана лаборатория теории нелинейных колебаний под руководством профессора Р.Ф. Ганиева. В составе этой лаборатории работали Марат Гафуров, Фирдавис Фазуллин, Ильсияр Шаяхметова — выпускники Уфимского авиационного института. К моменту создания лаборатории М.Б. Гафуров защитил кандидатскую диссертацию в Казани под руководством М.А. Ильгамова, а Ф.Ф. Фазуллин — в Ленинграде, его научным руководителем был Р.Ф. Ганиев. В лаборатории велись исследования по синхронизации колебаний упругих периодических систем (Ф.Ф. Фазуллин); численному



моделированию упруго-пластических волн в сложных средах (М.Б. Гафуров, Р.Г. Якупов); математическому моделированию систем гашения гидроударов в магистральных трубопроводах (С.Ф. Урманчиев).

Впоследствии эти две лаборатории были объединены в лабораторию динамики деформируемых сред, которая просуществовала вплоть до реорганизации ОФМ в 1989-1991 гг.

Исследовательские коллективы, упомянутые здесь, стали базой, на которой строился Институт. При создании Института было выделено минимальное число бюджетных ставок и коллектив, разумеется, формировался в соответствии с имевшимися возможностями. Руководство, теперь уже Уфимского государственного авиационного технического университета, в лице ректора профессора С.Т. Кусимова и проректора по научной работе профессора В.С. Жернакова приютило вновь образованное академическое учреждение, на условиях безвозмездной аренды предоставив ему часть аудиторий общей площадью свыше 800 кв. м.

В январе 2000 года Рыфат Рахматуллович Мавлютов на собрании научных сотрудников объявил о намерении сложить с себя полномочия директора Института и предложил на этот пост молодого доктора физико-математических наук Искандера Шаукатовича Ахатова, занимавшего должность заместителя Председателя Президиума Уфимского научного центра РАН. Будучи учеником академика Роберта Искандеровича Нигматулина, защитившим под его руководством кандидатскую и докторскую диссертации, И.Ш. Ахатов прекрасно сочетал в себе талант исследователя и навыки руководителя коллектива. Это не могло ускользнуть от взгляда внимательного к людям Р.Р. Мавлютова. В 1991 году после защиты докторской диссертации И.Ш. Ахатов возглавил кафедру механики сплошных сред, созданную по инициативе декана математического факультета Башкирского государственного университета профессора Ядута Талгатовича Султанаева. Более того, Р.Р. Мавлютову были известны планы И.Ш. Ахатова о создании научного центра по нелинейной динамике многофазных систем в Башгосуниверситете. Оценив его энергию, квалификацию и наличие собственной «команды» он и принял свое решение. Заместителем директора Института по научной работе стал кандидат физико-математических наук Саид Федорович Урманчиев.

Развитие механики как научной дисциплины в Республике Башкортостан связано, прежде всего, с



Член-корреспондент АН РБ
Искандер Шаукатович Ахатов



Доктор физико-математических наук, профессор
Саид Федорович Урманчиев

задачами авиамоторостроения и нефтяной промышленности. Этим фактом и было обусловлено вначале определение основных направлений исследований в Институте механики. Однако снижение темпов развития авиационной промышленности в стране сказалось и на уровне востребованности результатов научных исследований в этой области. С другой стороны, были интенсифицированы фундаментальные работы по созданию новых математических методов анализа моделей газовой динамики и исследованию сверхсильного сжатия вещества, имеющие перспективу получения высококонцентрированных потоков энергии. На новом направлении по разработке методов проектирования уникальных микроробото-технических систем с использованием новых наноструктурных материалов получены важные и обнадёживающие результаты. Теоретические и экспериментальные исследования дисперсных систем и течений с физико-химическими превращениями позволили установить новые закономерности, имеющие полезные приложения как при разработке новых технологий увеличения нефтеотдачи, так и в медико-биологической проблематике. Оригинальные работы по динамике распределённых механических систем привели к обнаружению нового механизма возбуждения колебаний в трубопроводах. Большой успех имеют собственно прикладные исследования, ведущиеся в Институте такие, как разработка методов анализа дорожно-транспортных происшествий на основе современных вычислительных технологий, создание программных продуктов для определения текущих параметров мощности насосов с целью энергосбережения при перекачке углеводородного сырья.

В целях увековечения памяти видного ученого в области прикладной механики и процессов управления в технических системах, инициатора создания и директора-организатора Института механики Уфимского научного центра РАН (1992–2000 гг.), Заслуженного деятеля науки и техники РСФСР, члена-корреспондента РАН Рыфата Рахматулловича Мавлютова Президиум Российской академии наук постановлением № 19 от 31.01.2012 г. присвоил Институту механики УНЦ РАН имя члена-корреспондента РАН Р.Р. Мавлютова.

В июле 2003 года С.Ф. Урманчиев был назначен исполняющим обязанности директора Института. В 2004 году он защитил докторскую диссертацию, а 20 декабря 2005 года избран на должность директора



ИМех УНЦ РАН. С.Ф. Урманчеев руководил ФГБУН Институтом механики им. Р.Р. Мавлютова Уфимского научного центра Российской академии наук с 2006 года по 2017 год (дано нынешнее название института).

21 февраля 2017 года по приказу ФАНО России (№100 п/о от 15.02.2017 г.) временное исполнение обязанностей директора Института возложено на кандидата физико-математических наук Марата Назиповича Галимзянова.

В состав Института механики входили шесть научных лабораторий:

- ◆ Механика многофазных систем.
- ◆ Механика твердого тела.
- ◆ Дифференциальные уравнения механики.
- ◆ Робототехника и управление в технических системах.

◆ Моделирование технологических процессов.

- ◆ Экспериментальная гидродинамика.

Лаборатория «Механика многофазных систем»

Основные направления исследований:

- ◆ кумуляция энергии при сверхсильном сжатии паровых пузырьков в акустическом поле;
- ◆ динамика пузырьков кластеров;
- ◆ гидродинамика термовязких и аномально термовязких сред;
- ◆ волновые процессы в насыщенных пористых средах.



Кандидат физико-математических наук, доцент Марат Назипович Галимзянов

ОБЩИЕ ПОКАЗАТЕЛИ	
Число публикаций в РИНЦ	559
Число цитирований публикаций в РИНЦ	3145
Число авторов, зарегистрированных в Science Index	29
h-индекс (индекс Хирша) по публикациям в РИНЦ	23
g-индекс	48
i-индекс	6
ПОКАЗАТЕЛИ ЗА 5 ЛЕТ (2012–2016)	
Число публикаций в РИНЦ	289
Число статей в зарубежных журналах	14 (4,8 %)
Число статей в российских журналах	206 (71,3 %)
Число статей в российских журналах из перечня ВАК	121 (41,9 %)
Число статей в российских переводных журналах	40 (13,8 %)
Число статей в журналах, входящих в RSCI	42 (14,5 %)
Число статей в журналах, входящих в Web of Science или Scopus	19 (6,6 %)
Число статей в журналах, входящих в ядро РИНЦ	59 (20,4 %)
Число публикаций, выполненных в сотрудничестве с другими организациями	142 (49,1 %)
Число публикаций с участием зарубежных авторов	19 (6,6 %)



Лаборатория «Механика твердого тела»

Основные направления исследований:

- ◆ динамическое взаимодействие упругих конструкций с рабочими средами (жидкостями, газами);
- ◆ прочность, устойчивость и колебания многослойных пластин и оболочек;
- ◆ механизмы возбуждения гидроупругих колебаний трубопровода;
- ◆ устойчивость сильного сжатия газовой полости в жидкости;
- ◆ диагностирование краевых условий по собственным частотам элементов конструкций;
- ◆ создание комплексной методики и инструментальных средств реконструкции обстоятельств дорожно-транспортных происшествий.

Лаборатория «Дифференциальные уравнения механики»

Основные направления исследований:

- ◆ классификация подмоделей механики жидкости и газа;
- ◆ физическая интерпретация симметричных решений дифференциальных уравнений механики.

Лаборатория «Робототехника и управление в технических системах»

Основные направления исследований:

- ◆ исследование нелинейных многосвязных систем частотными методами;
- ◆ проектирование оптимальных, адаптивных и интеллектуальных систем управления динамическими объектами;
- ◆ проектирование микроробототехнических систем и комплексов;
- ◆ синтез и анализ систем управления микроэлектромеханическими системами.

Лаборатория «Моделирование технологических процессов»

Основные направления исследований:

- ◆ математическое моделирование технологических процессов;
- ◆ ударные и детонационные волны в пузырьковых системах;
- ◆ разработка методик и пакетов прикладных программ для расчетов и оптимизации процессов в трубопроводном транспорте.

Лаборатория «Экспериментальная гидродинамика»

Основные направления исследований:

- ◆ течение дисперсных систем в капиллярах;



- ◆ фильтрационные процессы;
- ◆ ударные волны в многофазных средах.

Переименования ИМех

Постановлением Президиума РАН №208 от 23 июня 1992 г. по представлению Президиума Уральского отделения РАН создан Институт механики Уральского отделения РАН

Ноябрь 1992- Институт механики Башкирского научного центра Российской академии наук.

Постановлением Президиума Российской академии наук от 11 мая 1993 г. № 90 Башкирский научный центр Уральского отделения Российской академии наук был преобразован в Уфимский научный центр Российской академии наук.

Учреждение Российской академии наук Институт механики Уфимского научного центра РАН Постановлением Президиума РАН №274 от 18 декабря 2007 г.

Постановлением Президиума РАН №262 от 13 декабря 2011 г. изменен тип и наименование Института на Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт механики Уфимского научного центра Российской академии наук

Постановлением Президиума РАН №19 от 31 января 2012 г. Федеральному государственному бюджетному учреждению науки Институту механики Уфимского научного центра Российской академии наук присвоено имя члена-корреспондента РАН Р.Р. Мавлютова

Интеграция с ВУЗами Республики Башкортостан, Российской Федерации и мира

Институт ведет активную научную и образовательную деятельность. Заключен ряд договоров с ведущими ВУЗами Республики Башкортостан, созданы базовые кафедры и научно-образовательные центры и подписаны соглашения о сотрудничестве. Озвучим некоторые из них.

Договор о сотрудничестве № 25а/1101-08 с ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (2008 г.).

Научно-образовательный центр «Современные технологии проектирования, производства и эксплуатации двигателей летательных аппаратов и их систем



управления» совместно с ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (Приказ по ИМех УНЦ РАН № 37/1-6734 от 12.05.2008 г. и Приказ по УГАТУ № 450-О от 12.05.2008 г.).

Договор № YRU-En9057-FR с «Иокогава Электрик СНГ» (2009 г.).

Договор о сотрудничестве и соглашение о научно-техническом сотрудничестве с ФГБОУ ВПО «Башкирский государственный университет» с созданием базовой кафедры (2010 г.).

Соглашение о научно-техническом сотрудничестве в области повышения эффективности, надежности и безопасности транспортировки нефти и нефтепродуктов с ООО «Научно-исследовательский институт транспорта нефти и нефтепродуктов» (2011 год).

Соглашение о намерениях с ООО «ВолгоУрал-НИПИгаз» (Соглашение № 5107/12) (2008 г.).

Соглашение о сотрудничестве с Tulane University, Department of Biomedical Engineering, New Orleans (Memorandum от 7.08.2013).

Договор На 374пр о творческом сотрудничестве с ФГБОУ ВПО «Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы» (2013 г.).

Договор № 381пр об организации и проведении производственной практики и научно исследовательской работы с ФГБОУ ВПО «Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы» (2013 г.).

Соглашение о сотрудничестве и взаимовыгодном партнерстве № Б202/2014 с ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» (2014 г.).

Базовая кафедра «Механика сплошных сред» с ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (2014 г.).

Базовая кафедра «Программное обеспечение технических систем нефтяной и газовой отрасли» с ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» (2014 г.).

Базовая кафедра «Механика сплошных сред» с ФГБОУ ВПО «Башкирский государственный университет» (2015 г.).

Базовая кафедра «Физическая и химическая гидродинамика» с ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» (2016 г.).

Договор о сотрудничестве с ООО «Уфимский Научно-Технический Центр» (ООО «Уфимский НТЦ») (2017 г.).



Зарегистрированные программы

Болотнов И.А., Лукин С.В., Жигулин Д.Н., Богданов Р.М. Расчет оптимальных параметров работы трубопровода (РОПАРТ) // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2003610769 от 27 марта 2003 г.

Даринцев О.В., Мигранов А.Б. Виртуальная среда проектирования, тестирования и отладки микроэлектромеханических систем // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2004611008 от 22 апреля 2004 г.

Богданов Р.М., Лукин С.В. Расчет параметров работы магистральных трубопроводов на самотечных участках (Самотеч) // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2008613137 от 30 июня 2008 г.

Богданов Р.М., Лукин С.В. Расчет режимов работы магистральных трубопроводов при выбранных критериях оптимальности, схем работы и параметров магистральных трубопроводов, типа на-сосилового оборудования (РМТ) // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2008613138 от 30 июня 2008 г.

Богданов Р.М., Лукин С.В., Жигулин Д.Н. Расчеты по определению эффективности использования электроэнергии при трубопроводном транспорте нефти (Электроэффект) // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2008613898 от 15 августа 2008 г.

Шагапов В.Ш., Галимзянов М.Н. Распространение волн давления в пузырьковой жидкости с учетом двумерных эффектов // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2008613988 от 21 августа 2008 г.

Шагапов В.Ш., Гималудинов И.К., Галимзянов М.Н. Распространение одномерных волн конечной длительности в пузырьковой жидкости // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2008614251 от 5 сентября 2008 г.

Богданов Р.М., Зарипов Д.М., Лукин С.В., Жигулин Д.Н. Расчет прочности буровой колонны (РПБК) // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2008614847 от 9 октября 2008 г.

Губайдуллин А.А., Дудко Д.Н., Лукин С.В., Урманчев С.Ф. Расчет импульсов давления в пористых средах (РИМПОС) // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2009610629 от 27 января 2009 г.



Михайленко К.И. Моделирование ламинарного течения газа методом крупных частиц (Vpart-L) // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2009612176 от 29 апреля 2009 г.

Насибуллаева Э.Ш. Моделирование агрегата дозирования топлива, содержащего три подвижных элемента (ADT) // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2011610327 от 11 января 2011 г.

Богданов Р.М., Лукин С.В. Оценка эффективности расхода электроэнергии в трубопроводном транспорте (ОЭРЭТТ) // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2011611172 от 4 февраля 2011 г.

Богданов Р.М., Лукин С.В. Определение ряда оптимальных режимов работы магистральных трубопроводов при выбранных критериях оптимальности (ОРОРМТ) // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2011611173 от 4 февраля 2011 г.

Хакимов А.Г., Салман С.О. Собственные изгибные, крутильные и продольные колебания элементов конструкций (консольной балки, балки на шарнирных опорах с надрезом, круглой мембраны и пластины с утонченной центральной областью, вала, вала с маховиком, вала турбокомпрессора с моделью искусственного дефекта, штанги с надрезом на упругой подвеске) (VIBROTEST) // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2011617193 от 15 сентября 2011 г.

Хакимов А.Г. Отражение изгибной, крутильной и продольной волны от надреза в стержне (RUNWAVE) // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2012613735 от 20 апреля 2012 г.

Волкова Е.В., Насибуллаева Э.Ш., Ахатов И.Ш., Гумеров Н.А. Программный продукт для численного исследования динамики одиночного пузырька в акустическом поле с учетом направленной диффузии // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013612090 от 13 февраля 2013 г.

Болотнова Р.Х., Агишева У.О. Программный продукт для определения параметров ударных волн в газожидкостной смеси // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013618165 от 02 сентября 2013 г.

Агишева У.О., Бузина В.А., Галимзянов М.Н., Лепихин С.А. Программный продукт для определения параметров течений двухфазной среды в канале переменного сечения с учетом фазовых переходов //



Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013618166 от 02 сентября 2013 г.

Болотнова Р.Х., Бузина В.А. Программный продукт для определения параметров адиабатических течений и скорости звука в газожидкостной смеси // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013618167 от 02 сентября 2013 г.

Болотнова Р.Х., Бузина В.А. Определение гидродинамических параметров вскипающей жидкости в процессе взрывного истечения из сосудов высокого давления // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014611336 от 30 января 2014 г.

Агишева У.О., Бузина В.А., Галимзянов М.Н., Лепихин С.А. Расчет динамики пузырьковых течений в каналах кругового сечения // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014611337 от 30 января 2014 г.

Болотнова Р.Х., Агишева У.О. Расчет ударно-волновых процессов в пузырьковых жидкостях // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014611903 от 13 февраля 2014 г.

Бутюгина Е.В., Насибуллаева Э.Ш., Ахатов И.Ш., Гумеров Н.А. Численное моделирование динамики пузырька в акустическом поле с учетом диффузии газа между пузырьком и жидкостью // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014611975 от 14 февраля 2014 г.

Болотнова Р.Х., Агишева У.О. Расчет пространственных ударно-волновых процессов в газожидкостных средах // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015617285 от 06 июля 2015 г.

Болотнова Р.Х., Бузина В.А. 3D расчеты динамических процессов истечения вскипающей жидкости из камер высокого давления // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015660241 от 25 сентября 2015 г.

Кулешов В.С., Моисеев К.В. Численное моделирование тепломассопереноса жидкости с учетом температурной зависимости вязкости и неньютоновских свойств жидкости // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016615950 от 02 июня 2016 г.

Болотнова Р.Х., Гайнуллина Э.Ф., Коробчинская В.А. Расчет сферического взрыва в газожидкостной смеси // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016619611 от 24 августа 2016 г.



Кулешов В.С., Моисеев К.В. Численное моделирование теплопереноса многокомпонентной неоднородной смеси с учетом зависимости коэффициента динамической вязкости от температуры в замкнутой области // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017617638 от 11 июля 2017 г.

Богданов Д.Р. Программа для моделирования и синтеза специализированного цифрового компонента ПЛИС (инкрементные датчики) // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017612721 от 02 марта 2017 г.

Богданов Д.Р. Программа для моделирования и синтеза специализированного цифрового компонента ПЛИС (датчики с интерфейсом SSI) // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017612928 от 06 марта 2017 г.

Болотнова Р.Х., Гайнуллина Э.Ф. Моделирование сферического взрыва в водной пене с учетом объемной вязкости и тепловой межфазной релаксации // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017663037 от 23 ноября 2017 г.

Монографии

Мавлютов Р.Р. Высшая школа глазами ректора. М.: Изд-во МАИ, 1992. 176 с.

Хабиров С.В. Сборник задач по групповому анализу дифференциальных уравнений. Уфа: БГУ, 1993. 52 с.

Ильгамов М.А. Введение в нелинейную гидроупругость. М., Физматлит, 1991. 200 с. (Перевод на китайский язык, 1994).

Ильясов Б.Г., Миронов В.В., Юсупова Н.И. Иерархические модели процессов управления: описание, интерпретация и лингвистическое обеспечение. Уфа: УГАТУ, 1994. 151 с.

Ильясов Б.Г., Миронов В.В., Юсупова Н.И. Модели предупреждения критических режимов управляемых объектов в условиях неопределенности. Уфа: УГАТУ, 1994. 52 с.

Хабиров С.В. Теория поля. Уравнения механики сплошной среды. Уфа: УГАТУ, 1994. 43 с.

Ильгамов М.А. Статические задачи гидроупругости. Казань, 1994. 208 с.

Биргер И.А., Мавлютов Р.Р. Сопротивление материалов. М.: Изд. МАИ, 1994. 512 с.

Васильев В.В., Ильясов Б.Г. Интеллектуальные системы управления с использованием нечеткой логики. Уфа: УГАТУ, 1995. 99 с.



Мавлютов Р.Р., Хакимов А.Г. Большие перемещения упругих и упруго-пластических тел. Уфа: БГУ, 1995. 268 с.

Мавлютов Р.Р. Концентрация напряжений в элементах конструкций. М.: Наука, 1996. 240 с.

Жернаков В.С., Якупов Р.Г. Расчет болтовых и заклепочных соединений при высоких температурах, динамических нагрузках. М.: Изд-во МАИ, 1997. 260 с.

Ilgamov M.A. Static Problems of Hydroelasticity. Moscow: Nauka. Fizmatlit, 1998. 208 p.

Якупов Р.Г., Жернаков В.С. Термоупругие напряжения в соединениях и элементах конструкций. М.: Изд-во МАИ, 1998. 175 с.

Кусимов С.Т., Ильясов Б.Г., Васильев В.И., Мунасыпов Р.А. и др. Управление динамическими системами в условиях неопределенности. Москва, 1998. 450 с.

Кусимов С.Т., Ильясов Б.Г., Васильев В.И., Денисова Е.В., Мунасыпов Р.А. И др. Проблемы проектирования и развития систем автоматического управления и контроля ГТД. Москва, 1999. 609 с.

Жернаков В.С., Кузьминых А.А., Якупов Р.Г. Проектирование составного холодновысадочного инструмента. М.: Машиностроение, 1999. 221 с.

Ильгамов М.А. Профессор Х.М. Муштари. М.: Наука. Физматлит, 2001. 192 с.

Нигматулин Р.И. Как обустроить экономику России: экономический манифест. Уфа: Гилем, 2003. 144 с.

Ильгамов М.А., Гильманов А.Н. Неотражающие условия на границах расчетной области. М.: Наука. Физматлит, 2003. 240 с.

Бадамшин Р.А., Ильясов Б.Г., Черняховская Л.Р. Проблемы управления сложными динамическими объектами в критических ситуациях на основе знаний. М.: Машиностроение, 2003. 240 с.

Балухто А.Н., Булаев В.И., Бурый Е.В., Буянов А.А., Власов А.И., Асеф Д., Гао К., Гаврелей Ю.К., Галиулин Р.М., Гизатдинова Ю.Ф., Головань А.Ф., Гусакова В.И., Загоскин А.В., Замятин Н.В., Ильясов Б.Г., Каляев И.А., Косников Ю.Н., Муггатаров М.Г., Мунасыпов Р.А., Назаров Л.Е. и др. Нейрокомпьютеры в системах обработки изображений. Москва, 2003. Т. 7. 192 с.

Ильясов Б.Г., Даринцев О.В., Мунасыпов Р.А. Основы микроробототехники. Уфа: УГАТУ, 2004. 160 с.

Vasilyev V.I., Ilyasov B.G. Advanced Multivariable Control Systems of Aeroengines. Eds.: Sun Jianguo, BUAA Pub., Beijing, China, 2005. 621 p.

Ильясов Б.Г., Васильев В.И., Валеева Р.Г., Мунасыпов Р.А., Закиева Е.Ш., Машкина И.В., Сайтова Г.А. Ана-



лиз устойчивости систем автоматического управления. Уфа: УГАТУ, 2006. 204 с.

Нигматулин Р.И. Как обустроить экономику и власть в России. М. Экономика, 2007. 460 с.

Ахтямов А.М. Теория идентификации краевых условий. Уфа: Гилем, 2008. 300 с.

Ильгамов М.А., Смородов Е.А., Галиахметов Р.Н. Физика и химия кавитации. М.: Наука, 2008. 228 с.

Болотнова Р.Х. Ударные волны в слоистых средах. Разрушение, структурные и химические превращения. Уфа: РИЦ БашГУ, 2008. 176 с.

Кусимов С.Т., Ильясова Б.Г., Васильев В.И. Интеллектуальные системы управления и контроля газотурбинных двигателей. М.: Машиностроение, 2008. 549 с.

Ахтямов А.М. Теория идентификации краевых условий и ее приложения. М.: Физматлит, 2009. 272 с.

Садовничий В.А., Султанаев Я.Т., Ахтямов А.М. Обратные задачи Штурма-Лиувилля с нераспадающимися краевыми условиями. М.: МГУ, 2009. 184 с.

Ахтямов А.М. Математическое моделирование экономических процессов. Уфа: РИЦ БашГУ, 2009. 140 с.

Ильгамов М.А. Портреты современников. М.: Физматлит, 2009. 276 с.

Ахтямов А.М., Ахметвалиева Э.Н. Проблема вычисления коэффициентов разложений по производным цепочкам Келдыша. Уфа: РИЦ БашГУ, 2010. 108 с.

Саметов С.П., Ахметов А.Т. Гидродинамические эффекты при течении обратных эмульсий в микроканалах. Lambert Academic Publishing, 2011. 113 с.

Хабиров С.В., Чиркунов Ю.А. Элементы симметричного анализа дифференциальных уравнений механики сплошной среды. Новосибирск: НГТУ, 2012. 659 с.

Хабиров С.В. Лекции по механике. Уфа: УГАТУ, 2012. 133 с.

Хабиров С.В. Лекции. Аналитические методы в газовой динамике. Уфа: БГУ, 2013. 224 с.

Ильгамов М.А. Резонанс. Москва-Уфа: Гилем, 2013. 247 с.

Нигматулин Р.И. Механика сплошной среды, М.: ГЭОТАР-Медиа, 2014. 640 с.

Абзалимов Р.Р., Ахтямов А.М. Диагностика и виброзащита трубопроводных систем и хранилищ. Уфа: ФГБОУ ВО УГНТУ, 2016. 118 с.

Шагапов В.Ш., Мусакаев Н.Г. Динамика образования и разложения гидратов в системах добычи, транспортировки и хранения газа. М: Наука, 2016. 240 с.



Государственные награды и почетные звания сотрудников Института

Орден «За заслуги перед Отечеством» IV степени — Р.И. Нигматулин (2011 г.)

Орден Почета — Р.И. Нигматулин (2000 г.)

Орден Дружбы народов — М.А. Ильгамов (1995 г.)

Орден Салавата Юлаева — М.А. Ильгамов (2004 г.)

Медаль ордена «За заслуги перед Отечеством» II степени — М.А. Ильгамов (2010 г.)

Заслуженный деятель науки Российской Федерации — Я.Т. Султанаев (2010 г.)

Почетный работник науки и техники Российской Федерации — Р.Х. Болотнова (2017 г.)

Почетный работник высшего профессионального образования Российской Федерации — Я.Т. Султанаев (1994 г.), Н.Г. Мигранов (2007 г.), А.М. Ахтямов (2011 г.), М.М. Шакирьянов (2013 г.)

Заслуженный деятель науки Республики Башкортостан — Я.Т. Султанаев (1997 г.), Р.Г. Якупов (1997 г.), С.Ф. Урманчеев (2011 г.), С.Ф. Хабиров (2017 г.), В.Ш. Шагапов (2018 г.)

Заслуженный деятель науки Республики Татарстан — А.А. Аганин (1997 г.)

Государственная премия СССР — Р.И. Нигматулин (1983 г.)

Государственная премия Республики Башкортостан — М.А. Ильгамов (2003 г., 2015 г.), Я.Т. Султанаев (2011 г.), А.М. Ахтямов (2011 г.)

Государственная премия Республики Татарстан — М.А. Ильгамов (2012 г.), А.А. Аганин (2012 г.)

Премия Ленинского комсомола — Р.И. Нигматулин (1973 г.)

Премия комсомола Башкирии в области науки — В.Ш. Шагапов (1978 г.), Р.Х. Болотнова (1985 г.)

Премия Правительства Российской Федерации в области науки и техники — Р.И. Нигматулин (2012 г.)

Премия им. А.Ф. Леонтьева в области математических наук — С.В. Хабиров (2008 г.)

Премия им. Р.Р. Мавлютова в области технических наук — А.Г. Хакимов (2016 г.)

Областная Премия (Тюменской обл.) им. В.И. Муравленко в области научных и технических достижений в развитии нефтяной и газовой отрасли — А.Т. Ахметов (1999 г.)





Благодарственное Письмо Главы Республики Башкортостан — А.Т. Ахметов (2017 г.)

Почетная грамота РАН — С.В. Хабиров (1999 г.), С.Ф. Урманчеев (2001 г.), А.Т. Ахметов (2004 г.), Е.В. Денисова (2005 г.), Л.С. Бушуева (2007 г.), В.Ш. Шагапов (2008 г.), Р.Х. Болотнова (2011 г.)

Золотая медаль РАН — А.Б. Мигранов (2008 г.)

Медаль им. Х.А. Рахматулина — награды Российского Национального комитета по теоретической и прикладной механике — В.Ш. Шагапов (2011 г.), М.А. Ильгамов (2017 г.), С.В. Хабиров (2017 г.), С.Ф. Урманчеев (2018 г.), Р.Х. Болотнова (2018 г.)

Почетная грамота ФАНО России — З.Ф. Гаймалова (2017 г.), М.Н. Галимзянов (2018 г.)

Почетная грамота Министерства образования и науки Российской Федерации — М.М. Шакирьянов (2005 г.), С.Ф. Урманчеев (2012 г.), М.Н. Галимзянов (2012 г.)

Почетная грамота Профсоюза работников РАН — С.Ф. Урманчеев (2017 г.), М.Н. Галимзянов (2017 г.), Е.А. Налобина (2017 г.).



Патенты

Ахметов А.Т., Елизарова В.А., Кислицын А.А., Мезенцев Г.Н., Малышев А.Г., Мезенцев А.М., Нигматулин Р.И., Сонич В.П., Осоткин Д.А., Фадеев А.М. Способ ликвидации ледяных, гидратных и гидратопарафиновых пробок в скважине // Патент № 1739011, кл. E 21 B 43/00, 37/06. Б.И. № 21. 1992.

Бриллиант Л.С., Козлов А.Н., Яценко С.А., Федоров М.Б., Ахметов А.Т., Амелькин С.В., Феклистов В.Н., Шнайдер А.В. Способ разработки нефтяных месторождений // Патент РФ № 2236569, МПК: 7 E 21 B 43/22 A, 2002.

Бриллиант Л.С., Козлов А.Н., Яценко С.А., Ручкин А.А., Ахметов А.Т., Амелькин С.В., Феклистов В.Н., Шнайдер А.В. Способ выравнивания профиля приемистости нагнетательных скважин // Патент РФ № 2266400, МПК: 7 E 21 B 43/22 A, 2002.

Мусакаев Р.Р., Даринцев О.В., Денисов В.В. Способ подъема затонувшего объекта и система для его реализации // Патент на изобретение № 2226165 от 27 марта 2004 г.

Денисова Е.В., Денисов В.В., Родина С.М. Система автоматического управления многомерным объектом // Патент на изобретение № 2248027 от 10 марта 2005 г.



Даринцев О.В., Мигранов А.Б. Двухсторонний пьезоэлектромеханический микропривод // Патент на изобретение № 2259913 от 10 сентября 2005 г.

Даринцев О.В., Мигранов А.Б. Термоэлектромеханический преобразователь для микроманипулятора (варианты) // Патент на изобретение № 2259914 от 10 сентября 2005 г.

Даринцев О.В., Мигранов А.Б. Схват микроманипулятора // Патент на изобретение № 2259915 от 10 сентября 2005 г.

Даринцев О.В., Мигранов А.Б. Микросхват с силовым очувствлением // Патент на изобретение № 2261170 от 27 сентября 2005 г.

Даринцев О.В., Мигранов А.Б. Капиллярный микрозахват с обратной связью // Патент на изобретение № 2261795 от 10 октября 2005 г.

Даринцев О.В., Мигранов А.Б. Электростатический микрозахват // Патент на изобретение № 2266190 от 20 декабря 2005 г.

Даринцев О.В., Мигранов А.Б. Пьезоэлектрический привод микроманипулятора // Патент на изобретение № 2266808 от 27 декабря 2005 г.

Даринцев О.В., Мигранов А.Б. Термокапиллярный поршневой микропривод // Патент на изобретение № 2266809 от 27 декабря 2005 г.

Даринцев О.В., Мигранов А.Б. Автономное вакуумное захватное устройство микроробота // Патент на изобретение № 2266810 от 27 декабря 2005 г.

Даринцев О.В., Мигранов А.Б. Ротационный привод микроманипулятора // Патент на изобретение № 2266811 от 27 декабря 2005 г.

Бариев А.Ф., Даринцев О.В., Мигранов А.Б., Рахимов А.А. Вакуумное захватное устройство микроробота // Патент на изобретение № 2281197 от 10 августа 2006 г.

Даринцев О.В., Мигранов А.Б., Бакиров Т.Ф. Наноструктурное захватное устройство микроманипулятора // Патент на изобретение № 2331505 от 20 августа 2008 г.

Ильгамов М.А., Хакимов А.Г., Шакирьянов М.М. Способ определения координаты, длины и глубины раскрытой трещины упругой консольной балки // Патент на изобретение № 2416091 от 10 апреля 2011 г.

Шарипова Э.Ш., Васильев А.В. Устройство для механотерапии кисти // Патент на изобретение № 2408353 от 10 января 2011 г.

Шайдаков В.В., Урманчиев С.Ф., Полетаева О.Ю., Балапанов Д.М., Шайдаков Е.В., Чернова К.В. Способ





коагуляции и удаления ферромагнитных частиц из потока жидкости или газа // Патент на изобретение № 2410332 от 27 января 2011 г.

Денисова Е.В., Даринцев О.В., Насибуллаева Э.Ш., Черникова М.А., Черников А.И. Система автоматического регулирования газотурбинного двигателя // Патент на изобретение № 2412366 от 20 февраля 2011 г.

Ильгамов М.А., Хакимов А.Г., Шакирьянов М.М. Способ определения координаты, длины и глубины раскрытой трещины упругой консольной балки // Патент на изобретение № 2416091 от 10 апреля 2011 г.

Даринцев О.В., Мигранов А.Б. Электростатический микросхват // Патент на изобретение № 2417876 от 10 мая 2011 г.

Даринцев О.В., Мигранов А.Б. Магнитострикционный микросхват // Патент на изобретение № 2417877 от 10 мая 2011 г.

Даринцев О.В., Мигранов А.Б. Биметаллический микросхват // Патент на изобретение № 2417878 от 10 мая 2011 г.

Даринцев О.В., Мигранов А.Б. Наноструктурное захватное устройство для манипулирования микрообъектами, изготовленными из электропроводниковых материалов // Патент на изобретение № 2423223 от 10 июля 2011 г.

Нигматулин Р.И., Нуриев М.Ф., Азаматов М.А., Шагапов В.Ш., Урманчиев С.Ф., Ахметов А.Т., Кружков В.Н., Азаматов А.Ш. Способ комплексного волнового воздействия на скважину и призабойную зону // Патент на изобретение № 2459943 от 27 августа 2012 г.

Насибуллаева Э.Ш., Даринцев О.В., Денисова Е.В., Черникова М.А. Устройство дозирования топлива в газотурбинный двигатель // Патент на изобретение № 2537665 от 11 ноября 2014 г.

Кузин А.А., Кузин Р.А., Тимербулатов Ш.В., Улемаева С.А., Хакимов А.Г. Способ измерения внутрибрюшного давления // Патент на изобретение № 2520764 от 05 мая 2014 г.

Урманчиев С.Ф., Насибуллаева Э.Ш., Денисова Е.В., Черникова М.А., Мурашкин М.Ю., Насибуллаев И.Ш. Поршень с антикавитационной поверхностью для устройства дозирования топлива // Патент на изобретение № 2550287 от 08 апреля 2015 г.

Кузин А.А., Кузин Р.А., Тимербулатов Ш.В., Улемаева С.А., Хакимов А.Г., Шутанов Г.А. Прибор измерения давления // Патент на изобретение № 167634 от 10 января 2017 г.



Академики РАН
Нигматулин,
Григорян и Алексеенко



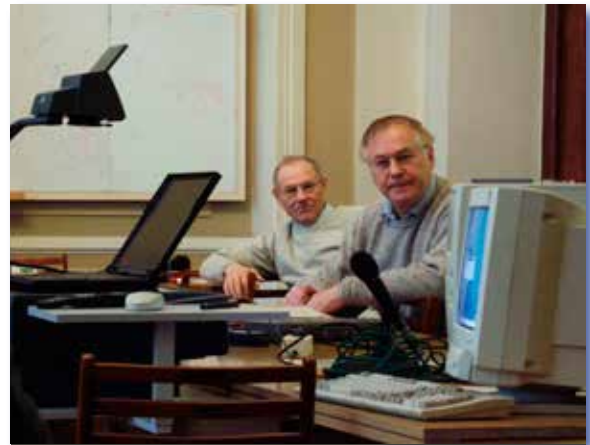
2007 год 15 лет институту



Григорян, Нигматулин,
Болотнова,
Вахитова, Нигматулина
и Ковалева



Нигматулин, Кедринский и Прибатурин



Ильгамов и Нигматулин



2012 год 20 лет институту



Субботник



Семинар в ИМех УНЦ РАН



Лаборатория «Механика твердого тела»



Ильгамов Марат Аксанович –
Член-корреспондент Российской
академии наук, Академик Акаде-
мии наук Республики Башкорто-
стан.

С момента создания Института лабораторией руководил член-корр. РАН Р.Р. Мавлютов. Основным направлением научной деятельности лаборатории было развитие теоретических основ, моделей и алгоритмов расчета процессов образования и релаксации остаточных напряжений и применение их к расчету конструкций и технологических процессов. Усилиями д-р техн. наук В.С. Куликова и канд. техн. наук Т.Н. Мардимасовой были получены следующие результаты. Впервые показано, что при сложном многокомпонентном нагружении, характеризующемся немонотонным изменением компонентов тензоров



Основные направления исследований:

- ◆ статическое и динамическое взаимодействие упругих тонкостенных конструкций с рабочими средами (жидкостями, газами);
- ◆ механизмы возбуждения гидроупругих колебаний трубопровода;
- ◆ устойчивость сильного сжатия газовой полости в жидкости;
- ◆ диагностирование краевых условий по собственным частотам элементов конструкций;
- ◆ создание комплексной методики и инструментальных средств реконструкции обстоятельств дорожно-транспортных происшествий.





напряжений и деформаций, образование остаточных напряжений происходит в условиях чередования процессов нагружения и разгрузки в расчетных точках тела и знакопеременных упругопластических деформаций. Традиционные схемы определения остаточных напряжений, основанные на теоремах об упругой и упругопластической разгрузке, в этом случае теряют силу, что потребовало формулировки нового подхода к решению этой задачи. Учитывая это обстоятельство, были предложены, а затем численно и программно реализованы модели и алгоритмы расчета остаточных напряжений. Их отличительной чертой было введение областей упругости и пластичности при нагружении и разгрузке, а также соответствующих им обобщенных кривых упругопластического деформирования.

Кроме того, предложенные алгоритмы расчета отличаются построением итерационного процесса линеаризации задачи не только по физической нелинейности материала, но и по характеру деформирования (нагружение при или разгрузка в расчетных точках тела).

Для линеаризации упругопластической задачи модифицирован известный метод переменных параметров упругости И.А. Биргера путем введения дополнительных параметров, соответствующих процессу разгрузки. На основе данного подхода разработана, в частности, методика расчета остаточных напряжений, формирующихся при знакопеременном упругопластическом деформировании с образованием «вторичных» пластических деформаций.

Показано существенное отличие в результатах расчета остаточных напряжений по разработанной методике и по традиционной схеме, в которой используется теорема Илью-шина. Анализ отечественной и зарубежной литературы показал, что изложенный в работе метод расчета остаточных напряжений предложен впервые.

С 2000 года лабораторию возглавил член-корреспондент РАН М.А. Ильгамов. До этой поры М.А. Ильгамов руководил институтской лабораторией Гидроаэроупругости, сотрудники которой вошли в состав обновленной лаборатории «Механика твердого тела».

Переезд М.А. Ильганова в 1995 году из Казани, где он руководил созданным им Институтом механики и машиностроения Казанского научного центра РАН, в Уфу ознаменовался постановкой новых задач взаимодействия элементов конструкций с рабочими



Ахтямов Азамат Мухтарович,
д.ф.-м.н., ведущий научный
сотрудник



Давлетбаева Зайнаб Нурмиевна,
старший инженер



Зарипов Дамир Мунзирович,
к.ф.-м.н., научный сотрудник



Султанаев Яудат Талгатович,
д.ф.-м.н., ведущий научный
сотрудник

средами. Одна из них — исследование колебаний трубопровода при пульсациях давления в заполняющей его жидкости. Классическая задача механики деформируемых конструкций приобрела новую формулировку, когда М.А. Ильгамовым было выведено уравнение изгиба трубопровода, содержащего жидкость, исходя из более общих соображений, чем это было принято в классических теориях. Эффект, характеризующий влияние на динамику трубы ее кривизны и осевых сил, возникающих при удлинении оси трубы в процессе поперечных колебаний, позволил получить целый спектр новых возможных решений. Основным результатом численных исследований, которые были выполнены совместно с Д.М. Зариповым, стало обнаружение большого разнообразия видов колебательных процессов в зависимости от параметров возбуждающих пульсаций. Исследования позволили теоретически объяснить экспериментально установленный факт существования режима самовозбуждения колебаний со сплошным спектром частот при действии переменного давления в гибкой трубе. Было показано, что эти колебания не являются проявлением классической турбулентности вязкого потока, а обусловлены взаимодействием пульсаций давления в транспортируемой жидкости и кривизны упругой линии трубы. Теоретически этот механизм обеспечивает самовозбуждение хаотических колебаний и в отсутствие вязкости жидкости и при нулевой средней скорости протекания, но обязательно при наличии среднего давления и продольных волн давления в жидкости. Были выявлены условия возникновения нелинейных вынужденных и параметрических колебаний и их взаимодействия. Обнаружены также различные типы хаотических колебаний. При этом было показано, что в системе имеют место два классических сценария перехода к хаосу — бифуркация удвоения периода и бифуркация Хопфа, причем в некоторых случаях эти схемы присутствуют одновременно.

В итоге, на основе многочисленных расчетов, были построены карты режимов колебаний трубопровода, исходя из анализа которых можно подобрать такие параметры системы, чтобы амплитуды возникающих колебаний были минимальны.

М.А. Ильгамовым внесен большой вклад в практику математического моделирования прочности, динамики конструкции и рабочих процессов твердо-топливных ракетных двигателей. В последние годы им разработаны модели и методы анализа динамики



конструкций с повреждениями. В научную литературу вошло определение «обратные задачи Ильгамова».

М.А. Ильгамовым совместно с А.А. Аганиным на основе вычислительного эксперимента получены оценки максимального нарастания искажений сферичности пузырька в ходе его сильного расширения-сжатия. Был рассмотрен случай, когда все параметры задачи соответствовали условиям известных экспериментов по сонолюминесценции отдельного воздушного пузырька в воде за исключением амплитуды колебаний давления жидкости, которая полагалась значительно большей — 5 бар. В финальной стадии сжатия использовалась математическая модель с учетом влияния плотности газа и неоднородности его давления на эволюцию формы пузырька. Установлено, что наиболее опасными с точки зрения устойчивости сферической формы пузырька являются низкочастотные возмущения, возникающие во время его максимального расширения. К моменту экстремального сжатия газа в пузырьке амплитуда таких возмущений может нарастать до десятков тысяч раз.

Цикл исследований по обратным задачам спектрального анализа дифференциальных уравнений с приложениями к акустической диагностике был выполнен А.М. Ахтямовым.

Доказано несколько новых теорем единственности, устойчивости и разрешимости обратной задачи Штурма-Лиувилля с нераспадающимися краевыми условиями по собственным значениям. Показана существенность всех условий теорем. Результаты по обратной задаче Штурма-Лиувилля использованы для определения переменного коэффициента упругости среды по собственным частотам колебаний струн.

Предложены методы акустической диагностики, которые позволяют находить закрепление элемента конструкции, например, прямоугольной мембраны по собственным частотам. В случае упругого закрепления мембраны на каждом из контуров, можно с помощью четырех собственных частот правильно диагностировать закрепление мембраны, которая по-разному закреплена на каждой из своих сторон. В другом случае, когда каждая из сторон мембраны является либо закрепленной, либо свободной, показано, что для правильного диагностирования достаточно определения только одного собственного значения. Из анализа рассмотренных результатов численных исследований следует, что понижение собственной частоты мембраны в процессе эксплуатации свиде-



Утяшев Ильнур Мирзович,
канд. физ.-мат. наук, научный
сотрудник



Хакимов Аким Гайфуллинвич,
канд. физ.-мат. наук, ведущий
научный сотрудник

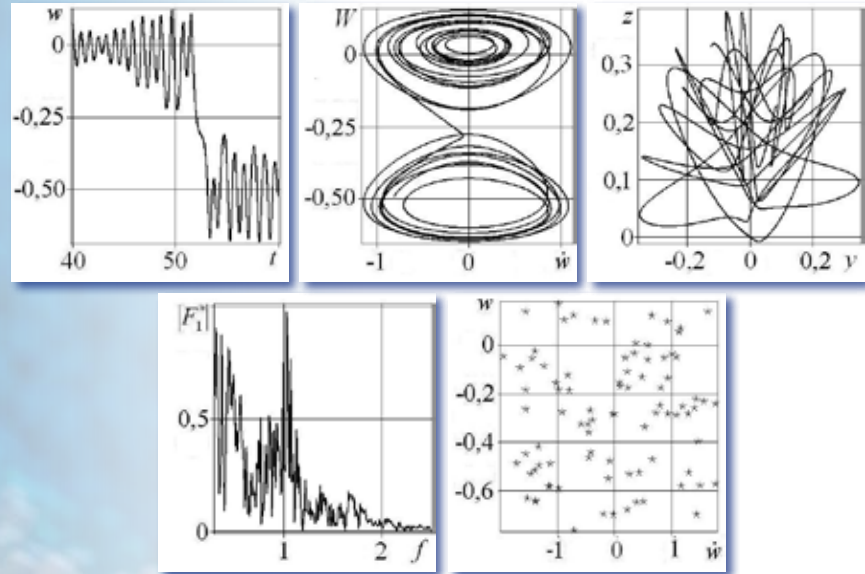


Рис. 1. Зависимости динамической составляющей прогиба w (в метрах) от времени t (в секундах), фазовые траектории W (м), \dot{w} (м/с), траектории средней точки пролета x , y , z (м), спектры частот $|F_1|$ (м·с), f (Гц) и отображения Пуанкаре изгибных колебаний трубы в водной среде при среднем давлении $p_0 = 7,08$ МПа, частоте $f = 1,1$ Гц, начальной фазе $\varphi_0 = 0$ рад и амплитуде $p_a = 0,15$ МПа переменного внутреннего давления

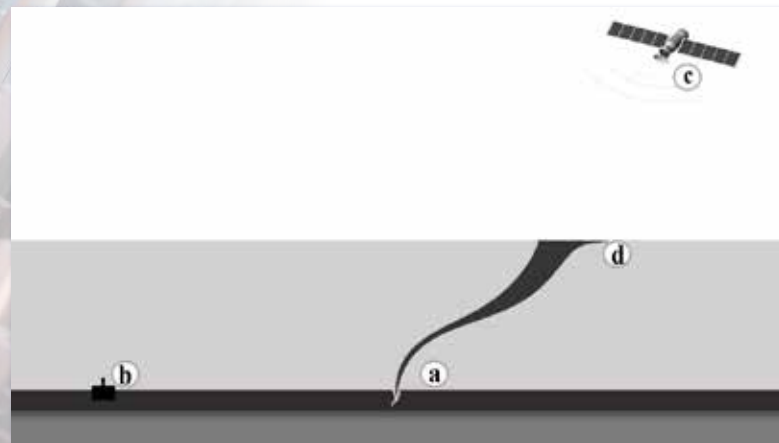


Рис. 2. Схема разрыва трубопровода на дне моря: а - место утечки, б - тензодатчик, с - система позиционирования ГЛОНАСС, d - разлив нефтепродуктов на поверхности

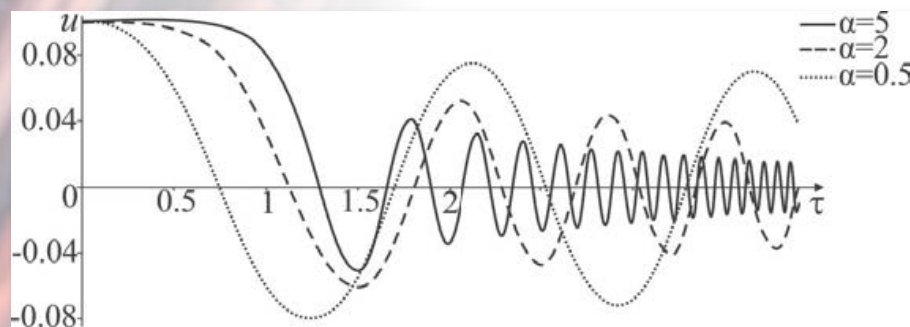


Рис. 3. Поперечные колебания струны в средней точке между опорами .
Струна подвержена силе натяжения $N = N_0(t/t_0)^\alpha$.



тельствует о понижении закрепленности мембраны. Поскольку мембраны порой недоступны для визуального осмотра, то предложенные методы акустической диагностики позволяют правильно диагностировать состояние закрепления мембраны и могут служить теоретической основой создания динамических систем с заданным диапазоном частот.

Д-р техн. наук Р.Г. Якуповым разработана уточненная методика исследования волновых процессов в полубесконечном стержне, находящемся в упругой среде, при воздействии сосредоточенной силы, движущейся с постоянной скоростью. Система дифференциальных уравнений, описывающих рассмотренные процессы, основана на теории балок Тимошенко. Алгоритм решения связан с использованием преобразования Лапласа по времени, при этом полученные интегралы определяются численно. Методика позволяет строить графики изменения изгибающего момента по продольной координате за фронтом упругих волн и за сосредоточенной силой в различные моменты времени. Результаты решения представляют функции влияния. Прикладной аспект решения задачи связан с необходимостью адекватного прогнозирования результатов воздействия движущихся объектов на основание.

При проектировании трубопроводных транспортных систем значительный интерес представляет созданная М.А. Ильгамовым и Р.Г. Якуповым нелинейная теория сильного изгиба магистрального трубопровода при его подъеме. Ими рассмотрены также задачи о деформациях и прочности магистральных трубопроводов при тектонических смещениях грунта.

Канд. физ.-мат. наук А.Г. Хакимовым решена проблема дрейфа длинного трубопровода, находящегося в сильновязкой среде. Разработана математическая модель деформации магистрального трубопровода с нулевой в недеформированном состоянии кривизной, проложенного в болотистой местности, с учетом начальной погрешности монтажа, продольных усилий и внутреннего давления. Исследовано влияние компенсатора осевых перемещений на напряженно-деформированное состояние трубопровода. В ходе исследований установлен важный факт увеличения величины максимального прогиба трубопровода со временем при внутреннем давлении, превышающем некоторое критическое значение. Если внутреннее давление равно критическому, то максимальный прогиб не меняется с течением времени, а если оно мень-



Юлмухаметов Артур Ахмарович,
инженер-исследователь



Филиппов Александр
Анатольевич, и.о. младшего науч-
ного сотрудника



Шакирьянов Марат Масгутьянович, канд. физ.-мат. наук, доцент, старший научный сотрудник



Ильгамов Марат Аксанович – Член-корреспондент Российской академии наук, Академик Академии наук Республики Башкортостан.

ше критического, то прогиб стремится уменьшиться.

В рамках инновационной деятельности лаборатории был создан «Центр автоэкспертизы Института механики УНЦ РАН». Его возглавил ученик Р.Р. Мавлютова, специалист в области вычислительных методов механики деформируемого твердого тела канд. техн. наук В.Н. Никонов.

Ильгамов Марат Аксанович — Член-корреспондент Российской академии наук, Академик Академии наук Республики Башкортостан, Заслуженный деятель науки Республики Башкортостан, доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник Института механики им. Р.Р. Мавлютова УФИЦ РАН

Достижения

М.А. Ильгамов является специалистом в области механики и машиностроения, многогранная и плодотворная научная деятельность которого направлена на решение актуальных задач по созданию изделий новой техники. Он является одним из основоположников нелинейной гидроупругости оболочек. Для его исследований характерно сочетание высокого научного уровня, математической строгости с ярко выраженной прикладной их направленностью. Им опубликовано около 280 научных работ, в том числе 12 монографий.

М.А. Ильгамовым были поставлены новые задачи динамики тонкостенных конструкций, контактирующих с рабочими средами, и получены важные результаты. В частности, дано решение задачи динамической прочности трубопроводных систем и камер сгорания при их неустойчивой работе, впервые были экспериментально обнаружены и теоретически описаны периодические ударные волны в газах в режиме нелинейного резонанса. Дана общая постановка задачи аэрогидроупругости, что позволило ставить и решать задачи сильного взаимодействия, выполнены работы по динамике гибкой оболочки в потоке жидкости и газа.

М.А. Ильгамовым внесен большой вклад в практику математического моделирования прочности, динамики конструкции и рабочих процессов твердо-топливных ракетных двигателей. В последние годы им разработаны модели и методы анализа динамики конструкций с повреждениями. В научную литературу



вошло определение «обратные задачи Ильгамова».

Наряду с глубокими теоретическими исследованиями большое внимание уделяет развитию экспериментальной базы по исследованию задач взаимодействия. Под руководством М.А. Ильгамова разработан целый ряд оригинальных установок, таких как установка для исследования периодических ударных волн, установка для изучения процесса гидродинамической штамповки, построены различные модели для изучения взаимодействия на режиме бегущей волны.

По его инициативе организованы ряд отделов по проблемам динамики и прочности ответственных конструкций, вычислительной газодинамики и моделирования технологических процессов, Институт механики и машиностроения РАН.

Большое внимание уделяется им популяризации результатов исследований, истории науки, анализу творчества выдающихся ученых — механиков прошлого. В качестве главного редактора семитомной «Башкирской энциклопедии» обеспечил ее высокий уровень. Она стала первой среди региональных энциклопедий в Российской Федерации. Является главным редактором «Известий УНЦ РАН».

Высокой оценки заслуживает педагогическая деятельность М.А. Ильгамова: руководство аспирантурой (45 его учеников защитили кандидатские диссертации, 15 из которых стали докторами наук). В последние годы он являлся заведующим кафедрой механики сплошных сред в Башкирском государственном университете.

В качестве заместителя председателя УНЦ РАН, вице-президента и президента АН РБ он занимался координацией исследований и разработок, в частности, по физико-математическим и техническим наукам. Является членом многих советов и обществ, в том числе Российского Национального комитета по теоретической и прикладной механике, иностранным членом Американского аэрокосмического общества, Академии наук Республики Башкортостан. В научных командировках в Англию, США и другие страны он достойно представлял российскую науку.

1976 — Орден СССР «Знак Почета»

1982 - Член Американского института аэронавтики и астронавтики (AIAA)

1991 - Член-корреспондент Российской академии наук

1993 - Член Академии нелинейных наук

1993 - Академик Международной восточной не-





фтяной академии

1995 — Орден Дружбы

1996 — Член Нью-Йоркской академии наук

1998 - Действительный член Академии наук Республики Башкортостан

2003 - Государственная премия Республики Башкортостан в области науки и техники

2004 — Государственная премия им. Салавата Юлаева

2004 — Орден Салавата Юлаева

2012 — Лауреат Государственной премии Республики Татарстан в области науки и техники: за работу «Развитие теории аэрогидроупругих и волновых систем, ее применение для повышения эффективности работы, надежности оборудования нефтехимии и трубопроводного транспорта»

2015 — Присвоено Звание лауреата Государственной премии Республики Башкортостан в области науки и техники 2015 года: за работу «Башкирская энциклопедия» в семи томах на бумажном и электронном носителях



Ильгамов М.А. Резонанс.
М.: Маска, 2013. 220 с.

Результаты

Решена задача о взаимном влиянии выпучивания упругой пластины под действием сжимающей силы и отклонения контактной границы жидкостей с разными плотностями. Полученное решение позволяет определить обобщенный критерий (критическую силу) при взаимодействии неустойчивости Эйлера и неустойчивости Рэлея — Тэйлора (М.А. Ильгамов).

Выделена инерционная стадия динамической прочности и устойчивости тонкостенных элементов конструкций, определяемая малостью упругих сил по сравнению с инерционными. Продолжительность этой стадии может быть сравнима с длительностью ударных процессов в твердых телах в жидкостных и газовых средах. Подход позволяет проводить анализ прочности и надежности тонкостенных элементов конструкций под ударным воздействием в различных средах (М.А. Ильгамов).

При описании процесса изгиба стержня или пластины под действием динамической поперечной и продольной сжимающей силы может быть выделена начальная стадия, когда упругие силы малы по сравнению с инерционными. Время инерционной стадии изгиба тем больше, чем длиннее стержень, меньше его толщина и скорость волны растяжени-



я-сжатия. Решение задачи для инерционной стадии движения может быть найдено в степенных рядах по времени. Это позволяет рассматривать сложные законы изменения динамической силы. Установлено, что для тонких стержней и пластин продолжительность инерционной стадии может быть больше, чем длительность реальных ударных воздействий. Для рассмотренных примеров это время 10^{-3} – 10^{-1} с. При продольном ударе грузом по торцу стального стержня продолжительность имеет порядк док 10^{-4} с, а при ударе поршнем по водяному столбу 10^{-3} с. Поэтому предложенный подход позволяет проводить приближенный анализ динамического изгиба тонкостенных элементов типа стержней, пластин и оболочек под кратковременным ударным воздействием в различных средах (М.А. Ильгамов).

Исследуется отражение от распределенной массы, прикрепленной к трубопроводу, и прохождения изгибной бегущей волны. Получена зависимость решения от начальной координаты распределенной массы и ее величины. Решение обратной задачи позволяет определить начальную координату распределенной массы и ее величину по данным отраженной волны в точке наблюдения (А.Г. Хахимов).

В процессе равномерной коррозии стенок трубопровода происходит уменьшение толщины стенок основного металла трубы и увеличение толщины продуктов коррозии на стенках трубопровода. Механизм эрозионно-коррозионного износа трубопроводов характеризуется тем, что одновременно с утончением стенок на одних участках происходит формирование отложений продуктов коррозии на других. Предполагается, что продукты коррозии распределены по внутренней поверхности трубопровода равномерно и вдоль нейтральной линии действует постоянная продольная сила. Использовано уравнение изгибных колебаний трубопровода по модели Кирхгоффа и граничные условия для защемленного по краям трубопровода. С помощью формул Феррари определяются волновые числа, а используя граничные условия, находится частотное уравнение. Решена прямая задача определения собственных частот изгибных колебаний трубопровода. Получено, что с увеличением скоростного параметра и с увеличением погонной массы продукта и продуктов коррозии на стенке трубопровода происходит уменьшение собственных частот изгибных колебаний трубопровода. Решена также обратная задача, где по трем низ-



шим частотам изгибных колебаний находятся скоростной параметр, относительная масса продукта на единицу длины трубопровода и относительная масса отложений на стенках трубопровода. Полученные результаты могут быть использованы для акустического метода определения скорости жидкости, относительной массы продукта на единицу длины трубопровода и относительной массы отложений на стенках трубопровода и массового расхода жидкости по трубопроводу (А.Г. Хакимов).

Исследуются собственные частоты изгибных колебаний заземленного по краям трубопровода, содержащего жидкость под давлением. Определяется плотность жидкости или осевой момент инерции поперечного сечения и внутреннее давление по собственным частотам изгибных колебаний трубопровода. Используется уравнение изгибных колебаний трубопровода по модели Кирхгоффа. Применяя уравнение, определяющее форму изгибных колебаний трубопровода, и граничные условия для заземленного по краям трубопровода, получено частотное уравнение, на основе которого решены прямая и обратная задачи. Получено, что с увеличением внутреннего давления или плотности жидкости внутри трубопровода происходит уменьшение собственных частот изгибных колебаний, а с увеличением осевого момента инерции поперечного сечения происходит увеличение собственных частот изгибных колебаний трубопровода. По двум собственным частотам изгибных колебаний определяются плотность жидкости и внутреннее давление в трубопроводе или осевой момент инерции поперечного сечения трубопровода. Полученные результаты могут быть использованы для определения плотности жидкости и внутреннего давления в трубопроводе или осевого момента инерции поперечного сечения трубопровода по двум собственным частотам изгибных колебаний (А.Г. Хакимов).

Рассмотрены пространственные хаотические колебания трубы и заключенной в ней жидкости относительно горизонтальной оси, проходящей через опоры. Исследование основано на приближенной математической модели, построенной в предположении малости упругости опор и деформаций трубы, связанных с ее выходом из плоскости изгиба. При этом учитываются силы инерции Кориолиса, выталкивающая сила Архимеда и силы сопротивления, пропорциональные первой степени скорости. Коле-



бания трубы происходят под действием переменного внутреннего давления, изменяющегося по гармоническому закону. Полученные результаты вычислений позволят провести оценку напряженно-деформированного состояния трубопровода и при неблагоприятных режимах его работы разработать мероприятия по защите трубопровода от повреждений и разрушения (М.М. Шакирьянов).

Рассмотрена задача на собственные значения, которая возникает при решении задачи о колебаниях длинного однородного стержня, левый конец которого закреплен, а на правом конце реализуется один из следующих видов закрепления: 1) заделка; 2) свободное опирание; 3) свободный конец; 4) плавающая заделка; 5) различные виды упругого закрепления (упругая заделка, упругое опирание и т.п.); 6) сосредоточенная масса на конце; 7) сосредоточенный инерционный элемент на конце. К рассмотренной задаче поставлена обратная задача: по собственным частотам изгибных колебаний стержня найти неизвестные краевые условия. Частотное уравнение является нелинейным относительно неизвестных коэффициентов краевых условий. Однако оно является линейным относительно миноров матрицы, составленной из неизвестных коэффициентов краевых условий. Используя этот факт, удастся показать единственность определения краевых условий по конечному набору частот. Это конечное число зависит от количества неизвестных коэффициентов (А.М. Ахтямов).

Рассматривается краевая задача для обыкновенного дифференциального оператора порядка n со спектральным параметром в граничных условиях. Предлагается способ изменения одного из граничных условий так, чтобы спектр новой задачи стал наперед заданным. Доказана теорема о том, что изменением только одного краевого условия задачи можно сделать характеристический определитель равным любой заранее заданной целой функции (А.М. Ахтямов).

Показано, что спектральный полином степени m в нераспадающихся краевых условиях однозначно восстанавливается по одному нулевому собственному значению кратности r и $m - r + 1$ ненулевым собственным значениям. Показано, что полином степени m в нераспадающихся краевых условиях однозначно восстанавливается по одному ненулевому собственному значению кратности $m + 1$ (А.М. Ахтямов).

Рассмотрен струнный граф G в виде звезды из n ребер. Длина каждой струны известна. Тупиковые



концы струн упруго закреплены, причем каждая из струн может быть закреплена пружинками различной жесткости, в местах закрепления подвешены сосредоточенные массы m_i . Требуется определить сосредоточенные массы m_i по собственным частотам колебаний графа и известному набору коэффициентов жесткости пружин. Предложен метод введения дополнительных неизвестных величин, на основе которого сформулирована теорема об однозначности восстановления трех масс по семи собственным частотам. (А.М. Ахтямов).

Рассмотрен стержень, состоящий из двух частей, имеющих различную плотность. Решена обратная задача об определении местоположения границы двух частей по собственной частоте колебаний стержня. Показано, что одной собственной частоты еще недостаточно для определения местоположения границы двух частей. Предложен метод определения местоположения границы двух частей стержня по двум частотам его колебаний (А.М. Ахтямов).

Получено обобщение критерия Левитана — Гасымова о разрешимости классической обратной задачи Штурма — Лиувилля на конечном интервале по двум спектрам на случай нераспадающихся краевых условий (А.М. Ахтямов, Я.Т. Султанаев).

При изучении асимптотики функции распределения собственных значений дифференциальных операторов используются в основном два метода: вариационный метод Куранта и метод Карлемана, основанный на детальном исследовании функции Грина соответствующей задачи. Здесь рассматриваются только неполуограниченные операторы, для которых метод Куранта неприменим ввиду ненулевых индексов дефекта соответствующего минимального оператора. Получить функцию Грина методами Левитана — Костюченко не удастся в силу вышеуказанных причин. Поэтому ранее авторами был предложен метод, основанный на получении асимптотических формул для фундаментальной системы решений соответствующего дифференциального уравнения при больших значениях спектрального параметра равномерных по x , склеиванию из них функции Грина с последующим применением Тауберовых теорем, полученных авторами. При этом на коэффициенты оператора приходилось накладывать весьма жесткие ограничения, известные как условия Левитана — Титчмарша. Предлагается оригинальный метод существенного ослабления условий на коэффициенты оператора,



что важно, любого порядка. Получены новые формулы для функции распределения собственных значений операторов в пространстве вектор-функций (Я.Т. Султанаев).

Исследован процесс упруго-пластического деформирования приповерхностного слоя тела из никелевого сплава при приложении к его поверхности динамически изменяющейся нагрузки с неоднородностью, характерной для удара осесимметричной струи жидкости (скорость струи ~ 300 м/с, ее радиус ~ 20 мкм), образующейся на поверхности сфероидального кавитационного пузырька при его схлопывании в воде в комнатных условиях (давление 1 атм, температура 20°C). Использовалась математическая модель, в которой воздействие на стенку считается осесимметричным, деформации и перемещения в теле малы. Уравнения модели являются двумерные уравнения динамики линейно-упругого полупространства, записанные в терминах радиальной и осевой составляющих вектора скорости, гидростатического давления, компонент девиатора тензора напряжений. Эффект пластичности учитывается по известной методике Уилкинса, согласно которой величина компонент девиатора тензора напряжений при превышении ими уровня, соответствующего пределу текучести, корректируется (опускается на этот уровень). Показано, что в результате приложения к поверхности тела указанной нагрузки на поверхности могут возникать осесимметричные микроямки глубиной ~ 20 нм и радиусом ~ 200 нм с кольцевым микровыступом на краю высотой ~ 2 нм и шириной ~ 200 нм (А.А. Аганин).

Решена задача идентификации закрепления кольцевой мембраны по собственным частотам колебаний. На основе разработанных алгоритмов написана программа для вычисления вида и параметра закрепления кольцевой мембраны по трем собственным частотам ее радиальных колебаний. Вычисления проводятся двумя методами: методом подбора и методом квазирешения В.К. Иванова. Решена прямая и обратная задача о продольном колебании стержня под действием удара груза по торцу стержня. Для наглядности полученных результатов разработан комплекс, вычисляющий решение обратной и прямой задач в виде графика (И.М. Утяшев).

Монографии, учебные пособия и статьи А.М. Ахтямова побеждали в различных конкурсах. Книга, посвященная идентификации краевых условий, становилась победителями конкурсов монографий Рос-



сийского фонда фундаментальных исследований (РФФИ) (2009 г.), Академии наук Республики Башкортостан (2008 г.), Башкирского государственного университета. Учебное пособие «Математика для социологов и экономистов» заняло первое место во Всероссийском конкурсе учебников по математике для социально-экономических специальностей высшего профессионального образования, организованного Министерством образования РФ (2000 г.). Пособие допущено Министерством образования РФ в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по социально-экономическим направлениям и специальностям. Гриф Министерства образования и науки имеют также пособия «Математический анализ в экономике» и «Теория вероятностей». Статья «Можно ли определить вид закрепления колеблющегося стержня по его звучанию?» победила в конкурсе научно-популярных статей РФФИ (2010 г.). Учебно-методический комплекс «Обратные задачи теории колебаний» занял первое место в конкурсе УМК Башкирского государственного университета (2012 г.).



1987 г.
Академики:
Н.Н. Красовский,
В.В. Румянцев,
В.М. Матросов
в лаборатории
М.А. Ильгамова



1988 г. Черный, Ильгамов



Ахтямов А.М.,
Садовничий В.А.,
Султанаев Я.Т.



Гафуров М.Б.,
Ильгамов,
Шакирьянов



Лаборатория «Механика многофазных систем»



Урманчев Саид Федорович,
д-р физ.-мат. наук, профессор,
главный науч. сотр.,
заведующий лабораторией

Первоначально лаборатория имела название «Нелинейная динамика многофазных сред». Она была образована по предложению Р.Р. Мавлютова в 1992 году, практически с момента зарождения института. Организатором и руководителем лаборатории стал д-р физ.-мат. наук И.Ш. Ахатов, который в то время был заведующим кафедрой механики сплошных сред на математическом факультете Башгосуниверситета и привлёк к проведению исследований в институте своих сотрудников по кафедре. В тот период интенсивное развитие получило новое направление гидродинамики — структурообразование пузырьковых систем при акустической кавитации. Исследования в этой области проводились совместно с сотрудниками Третьего физического института Гёттингенского университета (Германия). Руководителем работ с немецкой стороны был известный учёный профессор Вернер Лаутерборн. В ходе совместных



Основные направления исследований:

- ◆ кумуляция энергии при сверхсильном сжатии паровых пузырьков в акустическом поле;
- ◆ динамика пузырьковых кластеров;
- ◆ гидродинамика термовязких и аномально термовязких сред;
- ◆ волновые процессы в насыщенных пористых средах.





исследований были установлены совершенно новые факты и закономерности поведения скоплений кавитационных пузырьков, образовавшихся при воздействии акустических полей. Самым ценным научным результатом стало объяснение механизмов группирования пузырьков в виде фрактальных структур, напоминающих снежные узоры на стекле в морозные дни. Было выявлено определяющее значение сил Бьёркнесса, характеризующих взаимодействие между отдельными осциллирующими пузырьками.

Научная новизна проблемы и ее глубина при всей наглядности получаемых результатов делали акустическую кавитацию привлекательной для научной молодежи. Под руководством И.Ш. Ахатова в этом направлении было подготовлено и защищено несколько кандидатских диссертаций.

В работе Дамира Хисматуллина (1998), посвященной математическому моделированию резонансных явлений в пузырьковых жидкостях, была построена иерархия моделей пространственно-одномерного взаимодействия длинных и коротких волн. Для случая, когда длинноволновое возмущение имеет меньшую амплитуду по сравнению с коротковолновым, резонансное взаимодействие будет приводить к усилению амплитуды огибающей «короткой» волны, а в случае равенства порядков амплитуд — к развитию нелинейной неустойчивости. Ему удалось, также, определить условия фокусировки при взаимодействии длинноволновых и коротковолновых возмущений.

Динамика пузырьковых скоплений — кластеров стала темой исследований Эльвиры Насибуллаевой (2002). Она построила динамическую модель колебаний пузырьков, как сферических, так и несферических, с учетом тепло- и массопереноса. В работе был установлен принципиально важный эффект синхронизации фаз коллапса пузырьков в полидисперсном кластере. При этом происходит и увеличение степени сжатия пузырька. При сравнительном исследовании диффузионной устойчивости в акустическом поле было показано, что в монодисперсных кластерах могут появиться два значения радиуса для устойчивых пузырьков, а двухфракционный кластер может или исчезнуть в результате растворения, или стать монодисперсным.

В ходе численного моделирования роста и схлопывания пузырьков в сжимаемой жидкости Камиль Закиров (2005) установил, что в зависимости от начального искажения и интенсивности массообменных



**Нигматулин
Роберт Искандерович,**
академик РАН, д-р физ.-мат.
наук, главный научный сотрудник,
научный руководитель
направления



Болотнова Раиса Хакимовна,
д-р физ.-мат. наук,
гл. науч. сотр.



Шагапов
Владислав Шайхулагзамович,
 академик АН РБ,
 д-р физ.-мат. наук, профессор,
 главный научный сотрудник



Агишева Ульяна Олеговна,
 канд. физ.-мат. наук,
 ст. науч. сотр.

процессов осесимметричная паровая полость, по форме близкая к шару, при схлопывании стремится либо к образованию тора, либо к разделению на две полости. А факт увеличения искажений пузырька с ростом давления в жидкости, обнаруженный при численных исследованиях, стал основой для объяснения причины немонотонной интенсивности свечения пузырьков в зависимости от давления в опытах В. Лаутерборна, результаты которых противоречили расчетам, в которых возможность отклонения пузырьков от сферической формы не принималась во внимание.

Трансляционные эффекты, приводящие к структурообразованию при акустической кавитации, изучались Светланой Коноваловой (2006). Ей удалось методами численного моделирования, на основе учета всех значимых сил взаимодействия между пузырьками и межфазных сил, достаточно точно воспроизвести результаты экспериментальных исследований по формированию пузырьковых кластеров, выполненных в лаборатории В. Лаутерборна в Германии. Кроме того, были определены карты динамических режимов взаимодействующих пузырьков в пространстве параметров и характерные сценарии перехода к хаотическим колебаниям, а также получен ряд других интересных результатов.

Впоследствии, в 1998 году, в рамках выполнения проекта по гранту Европейского агентства поддержки научных исследований по программе INCO-COPERNICUS, к сложившейся международной группе исследователей присоединились ученые из греческого Патрасского университета профессор Джон Цампулос, доктор Никас Пелекасис, а также профессор Александр Дойников из Минска. Тема исследований, которая прошла серьезный конкурсный отбор, имела название «Нелинейные явления при ультразвуковой очистке сточных вод» и была успешно завершена в 2002 году. В ходе выполнения работ были созданы теоретические основы удаления мелких частиц примесей из воды, при помощи усовершенствования известных механизмов флотации. Был также понят механизм уничтожения микроорганизмов при схлопывании кавитационных пузырьков. На завершающей стадии выполнения проекта самое активное участие приняла Светлана Коновалова.

Важнейшие исследования лаборатории связаны с изучением сверхсильного сжатия парогазовых пузырьков в интенсивных акустических полях, принятых в 1993 году академиком РАН Р.И. Нигматулиным.



Проблема управления схлопыванием парогазовых пузырьков в жидкости для получения сверхвысоких температур в газе может иметь широкие приложения. Явление свечения газовых пузырьков в акустическом поле получило название сонолюминесценции. Акустическое поле в силу возникновения высоких температур в пузырьке может инициировать некоторые химические реакции, которые невозможны в других условиях (сонохимия). Но наиболее впечатляющим является то, что при сверхвысоких температурах в пузырьках может начаться термоядерная реакция. Пузырьки дейтерия в тяжелой воде при сверхвысоких сжатиях могут высвободить термоядерную энергию. Основной идеей нового подхода, предложенного Р.И. Нигматулиным и его коллегами И.Ш. Ахатовым, В.Ш. Шагаповым, Н.К. Вахитовой, является синхронизация процессов в жидкости с вынужденными колебаниями пузырьков и использование нелинейного резонанса при неперриодическом воздействии внешнего поля давления умеренной амплитуды, названного им «баскетбольным режимом». Для реализации этой идеи поставлена и решена задача о сферически симметричных колебаниях газового пузырька в сжимаемой жидкости. На базе полученного аналитического решения был разработан эффективный компьютерный код для математического моделирования схлопывания пузырька с учетом таких различных диссипативных механизмов, как вязкость, теплопроводность, излучение, ионизация, волновые процессы вокруг и внутри пузырька, тепло-массообмен между пузырьком и окружающей жидкостью при сверхвысоких сжатиях пузырька.

Дальнейшие исследования под руководством Р.И. Нигматулина проводились уже целой группой ученых Института механики УНЦ РАН — М.А. Ильгамовым, А.А. Аганиным, И.Ш. Ахатовым, Р.Х. Болотновой, Н.К. Вахитовой, А.С. Топольниковым с российской стороны. Руководство американской группой ученых осуществлял профессор Ричард Лэхи из Ренсселайрского университета, г. Трой, США. Совместными усилиями ими теоретически был установлен ряд требований для реализации управляемого термоядерного синтеза в одиночном пузырьке, находящемся в жидкости, при внешнем воздействии акустического поля.

Чтобы оценить условия, реализующиеся в схлопывающемся пузырьке, и возможность ядерной реакции синтеза D-D (дейтерий-дейтерий), была разработана замкнутая математическая модель гидро-



Киреев Виктор Николаевич,
канд. физ.-мат. наук, доцент,
ст. науч. сотр.



Коробчинская Валерия Александровна,
канд. физ.-мат. наук,



Моисеев Константин Валерьевич,
канд. физ.-мат. наук, доцент,
ст. науч. сотр.



**Насибуллаева
Эльвира Шамильевна,**
канд. физ.-мат. наук,
ст. науч. сотр.

динамических, газодинамических, ударно-волновых, тепло- и массо- обменных процессов вокруг пузырька пара в одномерном сферически-симметричном приближении. Система уравнений включает дифференциальные уравнения сохранения массы, импульса и энергии (с нелинейной теплопроводностью) в приближении уравнений Навье-Стокса и условия на межфазной поверхности с учетом неравновесных фазовых переходов (испарения и конденсации). Неравновесность конденсации определялась кинетикой, соответствующей закону Кнудсена-Ленгмюра. Разработано широкодиапазонное уравнение состояния жидкости и пара в форме Ми-Грюнайзена с учетом межмолекулярных или межатомных взаимодействий в виде потенциальной функции. Параметры уравнения состояния вычислялись на основе имеющихся экспериментальных данных по изотермической и ударной сжимаемости. В модели учитывались, также, эффекты диссоциации и ионизации.

Теоретический анализ выявил парадоксальный эффект: для реализации термоядерного синтеза необходимо использовать холодный дейтерированный ацетон (при температуре ниже 2–3 °С). Именно в таком дейтероацетоне специально организованная кавитация приводит к огромным скоростям схлопывания пузырька. А суперсжатие оставшейся части пара, в свою очередь, приводит к его чудовищному разогреву. В результате возникают условия, при которых становится возможной реализация термоядерного синтеза с выходом быстрых нейтронов, имеющих энергию 2.5 МэВ, и, как следствие — производство трития.

В итоге, к настоящему времени было установлено, что только в холодном дейтерированном ацетоне при специально организованной и управляемой кавитации могут возникнуть термоядерные реакции.

Сотрудники Национального (ядерного) центра (Оук-Ридж, США), занимающиеся экспериментальной частью исследований под руководством доктора Р. Талейархана, провели много экспериментов как с обычным, так и с дейтерированным ацетоном. И в полном соответствии с теорией, именно только холодный дейтероацетон при управляемой кавитации стал давать вспышки нейтронов, которые возникали одновременно со вспышками света. Принципиальный результат: в пузырьках идет ядерная реакция.

Расчеты показали, что в отличие от одиночного пузырька в случае кластера (в экспериментах наблюдался кластер пузырьков) в стадии сжатия происхо-



дит многократное усиление импульса давления в центральной зоне кластера (коллективный эффект). За счет этого схлопывание отдельных пузырьков оказывается еще более интенсивным, что приводит к многократному усилению эффекта нейтронной эмиссии.

Финансирование части работ при выполнении проекта «Исследование явления сжатия газовых пузырьков в жидкости под воздействием резонансно-акустического поля» было осуществлено Министерством Российской Федерации по атомной энергии. В этой связи в начале 2002 года академику А.Ю. Румянцеву (в то время министру) было направлено исчерпывающее информационное письмо о достигнутых результатах.

В этом письме, в частности, отмечалось:

«Основные результаты работ опубликованы в ведущих российских и зарубежных научных изданиях, в том числе журналах «Доклады РАН», «Прикладная механика и техническая физика», «J. Fluid Mechanics» «Physics of Fluids», «Experimental Thermal and Fluid Science» и были доложены в текущем году на VI Забабахинских научных чтениях и VIII Всероссийском съезде по теоретической и прикладной механике. Наиболее полное изложение результатов работы по Государственному контракту с ДАНТ Минатома России приведено в научных отчётах.

Главная задача предстоящих исследований заключается в увеличении потока нейтронов, которая может быть решена за счёт источника ультразвуковой энергии, размера установки, увеличения массы нагретого до сверхвысоких температур вещества внутри пузырька. В этом плане наиболее перспективным представляется использование пузырьков систем, где можно добиться дополнительного сжатия пузырьков в полидисперсном кластере. Теоретически было показано, что существует сильная взаимосвязь между пузырьками различных фракций, обусловленная обменом энергией между пузырьками в этих фракциях. При этом наблюдается (в том числе и экспериментально) «подчинение» колебаний пузырьков меньшего радиуса пузырькам большего радиуса. Было обнаружено, что при некоторых значениях параметров происходит интенсификация коллапса пузырьков.

Следует также отметить, что явление сверхсжатия газового пузырька вплоть до достижения температур и давлений протекания ядерных реакций, определяется очень большим числом параметров. Из этого факта следует принципиальная невозможность



Топольников Андрей Сергеевич,
канд. физ.-мат. наук,
ст. науч. сотр.



Хизбуллина Светлана Фаизовна,
канд. физ.-мат. наук,
ст. науч. сотр.



Айтбаева Айгуль Азаматовна,
мл. науч. сотр.



Низамова Аделина Димовна,
мл. науч. сотр.



Кулешов Василий Сергеевич,
аспирант

выявления оптимального режима сверхсжатия постановкой одиночных экспериментов. Экспериментальные работы должны сопровождаться детальными теоретическими исследованиями с целью определения условий их проведения. Именно такие исследования могут позволить обнаружить «тропинку» в многомерном мире параметров, которые влияют на все три стадии коллапса, чтобы выйти на максимальный уровень сверхсжатия с инициированием ядерных реакций».

Большую роль для поддержки проводимых исследований сыграли также Российский фонд фундаментальных исследований и Программы фундаментальных исследований Президиума РАН и ОЭММПУ РАН.

С 1996 года в лаборатории под руководством и по инициативе С.Ф. Урманчеева были начаты теоретические исследования в области гидродинамики anomalно термовязких жидкостей. Суть проблемы сводилась к изучению закономерностей течения сред, вязкость которых имела немонотонную зависимость от температуры. Эта область гидродинамики оставалась практически не изученной. Между тем целый ряд веществ таких, как жидкие сера и некоторые полимерные соединения, имеющие широкое применение в промышленных технологиях или участвующие в природных процессах, обладают этим свойством. Первые результаты, полученные С.Ф. Урманчевым совместно с выпускником математического факультета Виктором Киреевым, были доложены в 1998 году на Международной конференции по многофазным потокам в г. Лионе (Франция). При этом был установлен важный факт: структура потока anomalно термовязкой жидкости определяется образованием высоковязкой локализованной области — «вязкого барьера».

В дальнейшем Виктор Киреев (2004) при численном исследовании течения термовязких жидкостей обнаружил скачкообразное изменение расхода с увеличением перепада давления. Объяснение этого факта было основано на анализе распределения зон с высокой вязкостью в канале: скачок возникает в тех случаях, когда термовязкая жидкость при заданном перепаде давления не успевает прогреться по всему сечению до выхода из канала, а изолинии вязкости терпят разрыв. Было получено, также, объяснение механизма возникновения режима термовязких колебаний, сопровождающих процесс установления течения anomalно термовязкой среды,



состоящее во взаимодействии тепловых и гидродинамических полей.

В результате численных экспериментов по изучению расслоенных режимов течения жидкостей в теплообменнике, одна из которых обладает аномально термовязкими характеристиками, установлены причины наблюдающегося в лабораторных опытах «порога», как локализованной деформации границы раздела двух жидкостей, обусловленной неоднородностью поля вязкости.

Светланой Хизбуллиной методами численного моделирования изучены особенности течения и расходные характеристики потока термовязкой и аномально термовязкой жидкостей в цилиндрическом канале при различных условиях теплообмена.

Задача о естественной конвекции аномально термовязкой жидкости в квадратной полости численно исследовалась Айдаром Ильясовым (2005). Им установлены области стационарных, квазипериодических и хаотических режимов для различных видов зависимости вязкости от температуры. Установлено, что минимальные критические числа Рэлея являются возрастающими функциями эффективной вязкости жидкости. В случае естественной конвекции для симметричных граничных условий установлено, что в регулярных автоколебательных режимах теплообмен на изотермических стенках синхронизируется, а амплитуды и квазипериоды колебаний чисел Нуссельта уменьшаются с увеличением числа Рэлея. Автоколебательный характер теплообмена связан с регулярным симметрично-инверсионным перезамыканием вихревых структур. Исследование по влиянию направления ускорения силы тяжести на характер конвективного течения в ячейке выполнено Константином Моисеевым.

Результаты

Предложена методика построения широкодиапазонных аналитических уравнений состояния в форме Ми-Грюнайзена для молекулярной фазы углеводородных жидкостей. На примере обычных углеводородных жидкостей — бензола и тетрадекана и их дейтерированных аналогов построены уравнения состояния в широком диапазоне давлений и плотностей, которые в области низких плотностей и давлений переходят в уравнение состояния совершенного газа. Полученные уравнения состояния учитывают



Гайнуллина Элина Фаилевна,
аспирант, стажер-исследователь



Выдрина Айгуль Флюоровна,
ведущий инженер



поведение вещества на линии насыщения в окрестности критической точки и согласуются с экспериментальными данными по ударной сжимаемости. Они описывают процессы диссоциации и ионизации, происходящие при сверхвысоких сжатиях и температурах с учетом квантовых и обменных поправок в соответствии с теоретическими представлениями в автомодельной теории Томаса-Ферми. (Р.И. Нигматулин, Р.Х. Болотнова).

Построена нестационарная модель газожидкостной и пароводяной смеси в двумерной осесимметричной постановке с использованием широкодиапазонного уравнения состояния Нигматулина-Болотновой. Рассмотрены особенности взаимодействия ударного импульса с барьерами их водной пены. Оценена эффективность демпфирующих способностей пенной преграды в зависимости от ее плотности. При исследовании динамики поля скоростей в процессе взаимодействия воздушной ударной волны с пенным слоем обнаружены зоны образования вихрей вследствие пространственной неоднородности формирующихся внутренних течений, возникающих при переотражении ударных волн от границы с пеной (Р.Х. Болотнова, У.О. Агишева, Э.Ф. Гайнуллина, В.А. Коробчинская).

Решены задачи динамического воздействия на газо-парожидкостные среды в условиях, приближенных к натурным экспериментам, с использованием численного моделирования пространственных задач на основе моделей двухфазной среды с учетом теплообмена и реалистических уравнений состояния фаз для получения достоверных значений термодинамических параметров. Исследованы особенности формирования струй вскипающей жидкости при начальных параметрах близких к термодинамической критической точке. В расчетах установлено, что при начальных температурах насыщения воды ниже 480 К струя имеет конический вид; дальнейшее повышение начальной температуры насыщения при приближении к критической точке приводит к закручиванию струи против движения потока, что соответствует формированию начальной стадии экспериментально наблюдаемого режима развала струи (Р.Х. Болотнова, В.А. Коробчинская).

Разработана двухфазная модель поведения водной пены при воздействии мощной сферической ударной волны, описываемая уравнениями сохранения импульса смеси, массы и внутренней энергии

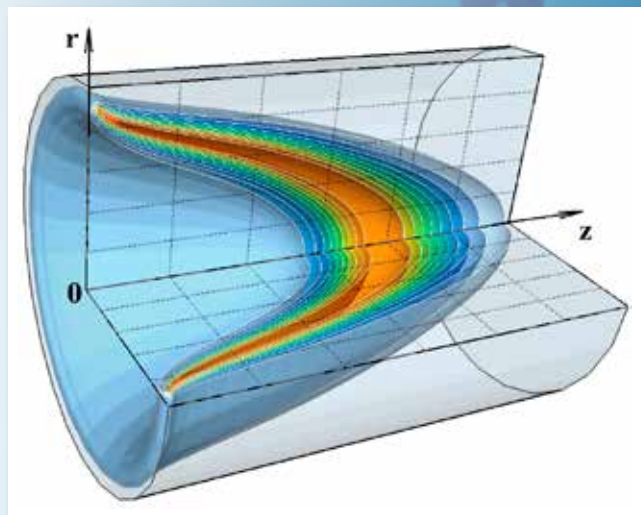


каждой фазы в лагранжевых переменных с учетом объемной вязкости и межфазного теплообмена. Сферический взрыв моделировался в виде ударной волны, обладающей энергией заряда ВВ, используемого в экспериментах. Получено удовлетворительное согласование численных решений и новых экспериментальных данных по сферическому взрыву в газе и водной пене. Детально исследованы причины, приводящие к значительному снижению амплитуды и скорости ударной волны в изучаемых средах (Р.Х. Болотнова, Э.Ф. Гайнуллина).

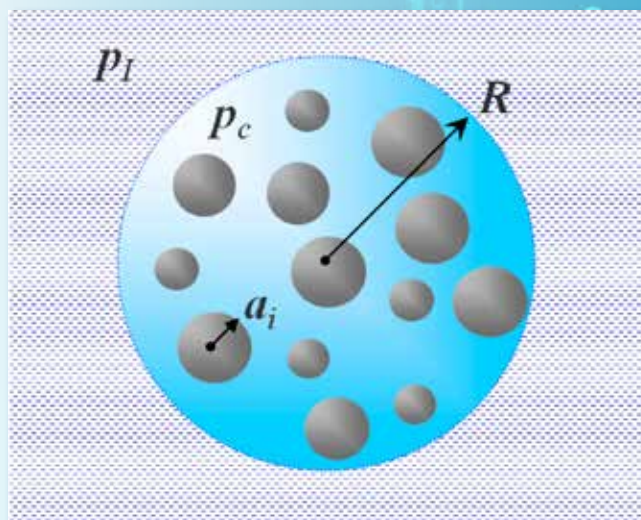
Предложена математическая модель радиальных колебаний парогазового пузырька в жидкости, позволяющая исследовать химические превращения внутри пузырька в условиях интенсивного нагрева его содержимого при сжатии. Установлено, что в результате коллапса парового пузырька, образованного при лазерном пробое в жидкости, с учетом химических реакций его максимальная температура уменьшается примерно в два раза. При этом массовая концентрация водяного пара после коллапса не восстанавливается до начального значения, а величина радиуса отскока уменьшается. Исследованы периодические радиальные осцилляции аргонового пузырька, помещённого в воду. Показано, что в акустическом поле умеренной амплитуды на стадии максимального растяжения массовая доля водяного пара внутри него достигает 80% и к моменту коллапса падает до 15%. Присутствие водяного пара наряду с химическими реакциями его диссоциации приводит к уменьшению максимальной температуры пузырька в два раза (Р.И. Нигматулин, А.С. Топольников).

Проведены теоретические и численные исследования эволюции пузырькового слоя вблизи поверхности океана, обусловленной макромасштабным перемещением слоев жидкости. В качестве источников такого перемещения изучены такие природные явления, как распространение внутренней волны на границе пикноклина и лангмюровские циркуляции (А.С. Топольников).

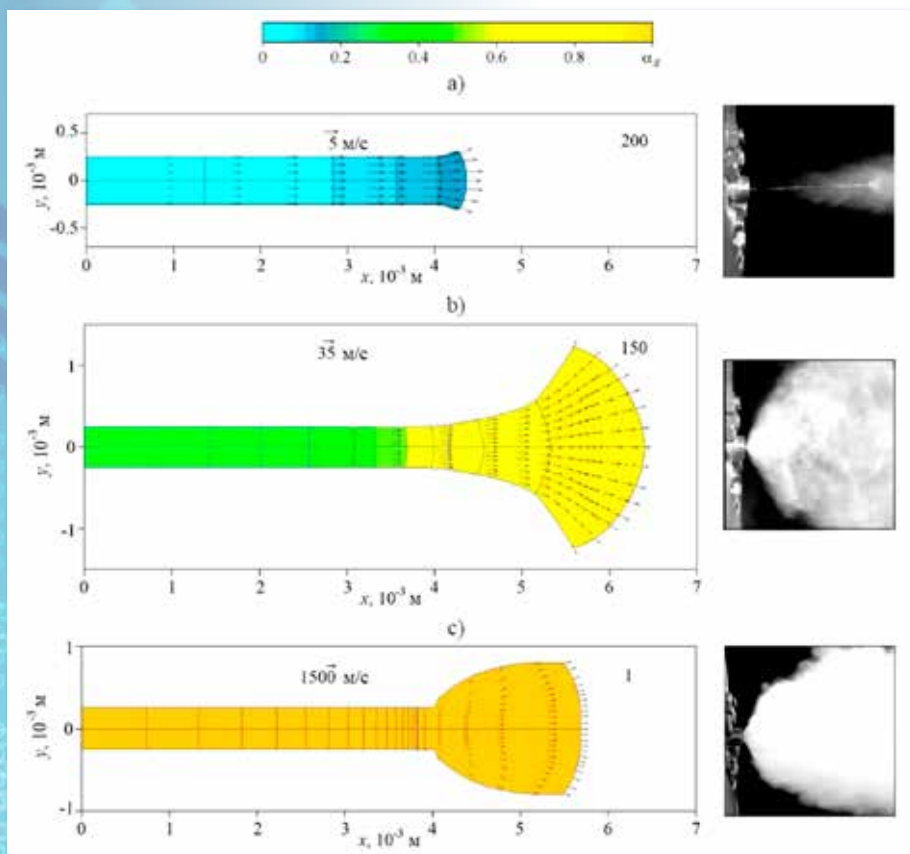
Разработана и обоснована математическая модель динамики пузырькового кластера, описывающая сферически-симметричные и несферические движения пузырька в кластере с учётом диффузионных процессов, протекающих между пузырьком и окружающей его жидкостью. В предложенной модели кластер рассматривается как большая капля, содержащая в себе жидкость и множество газовых микро-



подпись



подпись



ПОДПИСЬ

пузырьков разного радиуса. Обнаружены эффекты синхронизации фаз коллапса и интенсификации коллапса пузырьков в полидисперсном кластере, которые являются результатом взаимодействия между пузырьками в кластере и согласуются с известными экспериментальными данными (Э.Ш. Насибуллаева).

При решении задачи численного моделирования сильно нелинейной динамики пузырька в акустическом поле с учетом процесса направленной диффузии газа, растворенного в жидкости, был разработан алгоритм приближенного решения задачи, основанный на предположении квазипериодичности колебаний профиля концентрации растворенного в жидкости газа (для вычислений на большом количестве периодов акустического поля). Для исследования влияния направленной диффузии газа на динамику сферического пузырька применена техника многих масштабов (Е.В. Бутюгина, Э.Ш. Насибуллаева).

Разработана математическая модель исследования диффузионной устойчивости газовых пузырьков в монодисперсном кластере с учётом физических свойств окружающей жидкости и ее температуры. По-

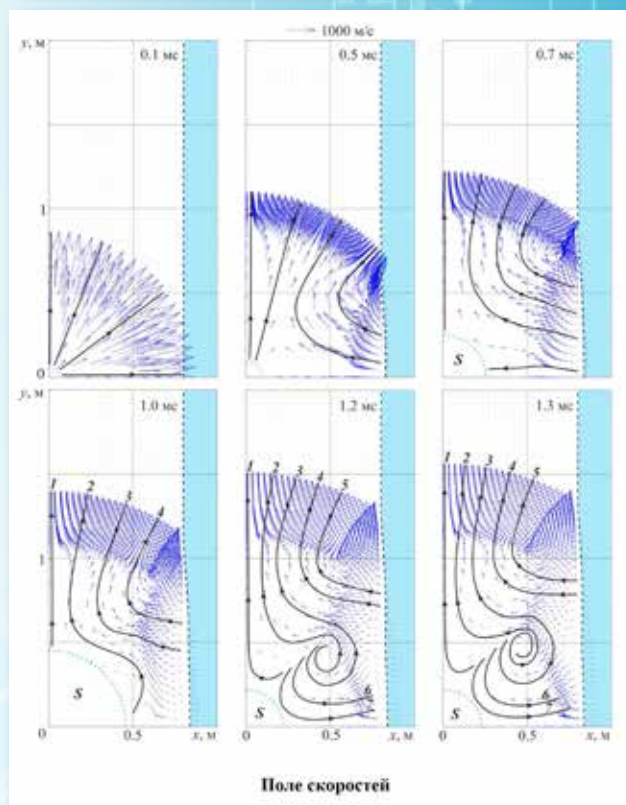
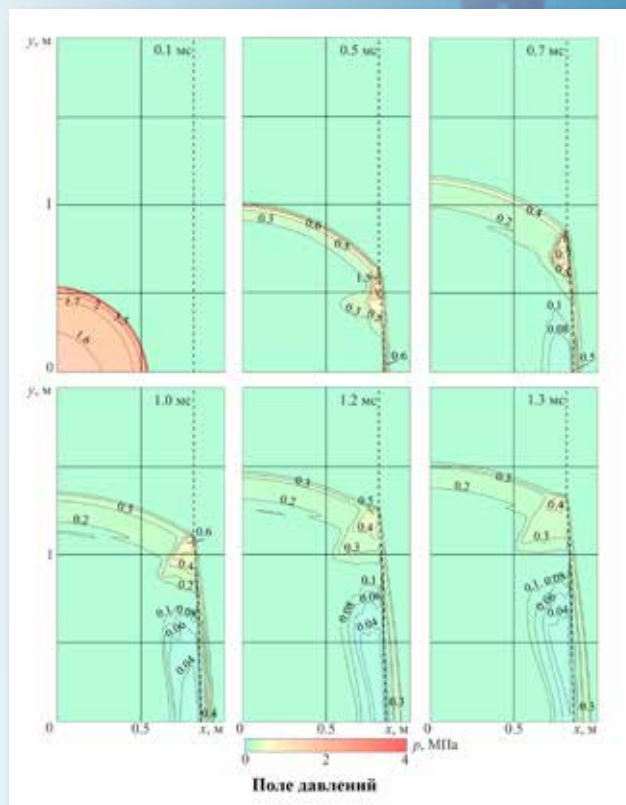


казано, что время установления диффузионно устойчивого кластера уменьшается с ростом температуры жидкости, а при ультразвуковой обработке технических жидкостей (например, топлива) этап установления диффузионно устойчивого кластера будет занимать небольшое время по сравнению с последующим этапом всплытия пузырьков на поверхность (Э.Ш. Насибуллаева, Е.В. Бутюгина).

Построена математическая модель течения полимерных жидкостей в каналах с неоднородным температурным полем с учётом изменения теплофизических и механических параметров среды. Большинство полимерных жидкостей обладают неньютоновскими свойствами, а их вязкость является функцией скорости деформаций и температуры. Особое внимание при численных исследованиях было уделено поведению неньютоновских жидкостей, имеющих немонотонную зависимость вязкости от температуры, обусловленную перестройкой молекулярной структуры вещества (С.Ф. Урманчеев).

Анализ результатов численных исследований течения жидкостей с реологией, подчиняющейся степенному закону Оствальда-де Ваале и немонотонной зависимостью вязкости от температуры показал сложную зависимость расхода жидкости от условий теплообмена и перепада давления. Установлено, что увеличение параметра, характеризующего отношение максимальной вязкости к минимальной при изменении температуры, в значительной мере снижает расход псевдопластической жидкости, но не оказывает заметного влияния на поведение дилатантной жидкости. При численном исследовании естественной конвекции неньютоновских жидкостей с температурной зависимостью вязкости в плоской ячейке установлено, что при одинаковом числе Грасгофа теплообмен в псевдопластических жидкостях хуже, чем в дилатантных. (С.Ф. Урманчеев, С.Ф. Хизбуллина, К.В. Моисеев).

Детально изучены конвективные течения Куэтта-Тейлора в аномально термовязких жидкостях, представляющие значительный интерес для расчёта теплообмена в подшипниках и разработки технологических процессов с применением полимерных жидкостей. Учёт немонотонной зависимости вязкости от температуры приводит к существенному изменению динамических характеристик течения и к возникновению различных режимов течения в кольцевом зазоре между коаксиальными цилиндрами, имеющими



подпись



ограниченную длину. Наряду со стационарным режимом, обнаружены и колебательные режимы течения, включая хаотический режим, которые могут привести к явлению «биения» в соответствующих установках. При этом установлен критерий возникновения колебательных режимов течений Куэтта–Тэйлора, представляющих угрозу для безотказной работы оборудования (С.Ф. Хизбуллина, С.Ф. Урманчеев)

Построена математическая модель конвективного течения Рэлея–Бенара аномально термовязкой неньютоновской жидкости с учетом стратификации. Разработан и верифицирован компьютерный код для моделирования конвективных течений аномально термовязких жидкостей. Обнаружено, что параметры аномалии вязкости и неньютоновских свойств жидкости определяют динамику изменения интенсивности теплообмена. При больших числах Грасгофа обнаружено наличие квазистационарных колебательных многоячейковых режимов с перезамыканием вихревых структур (К.В. Моисеев, В.С. Кулешов).

Для исследования устойчивости течения термовязкой жидкости в плоском канале с неоднородным по его сечению температурным полем получено обобщенное уравнение Орра–Зоммерфельда. Численный анализ полученного уравнения позволил установить, что учет температурной зависимости вязкости вносит заметный вклад в описание характеристик устойчивости течения жидкости и вызывает значительные различия между спектрами собственных значений для моделей жидкостей с постоянной вязкостью с одной стороны и термовязкими жидкостями с другой. Кроме того, термовязкие жидкости обнаруживают более низкие значения критического числа Рейнольдса (А.Д. Низамова, В.Н. Киреев, С.Ф. Урманчеев).

Работы, проводимые в лаборатории, были поддержаны Программами Президиума РАН (№№ П-25, ПЛ-23), ОЭММиПУ РАН (№№ ОЭ-14, ОЭ-13, ОЭ-12, IV.4.12, III.4.3) руководитель — д-р физ.-мат. наук С.Ф. Урманчеев), грантами РФФИ (08-01-00434-а, 11-01-00171-а) руководитель — академик РАН Р.И. Нигматулин; 08-01-97033, 14-01-97034, руководитель — д-р физ.-мат. наук С.Ф. Урманчеев; 11-01-97004-р_поволжье_a, 14-01-97007-р_поволжье_a) руководитель — д-р физ.-мат. наук Р.Х. Болотнова)



Лаборатория «Дифференциальные уравнения механики»

Лаборатория дифференциальные уравнения механики была создана 1993 году д-р физ.-мат. наук Хабировым Салаватом Валеевичем.

В предыдущие годы в лаборатории работали: д-р физ.-мат. наук Жибер Анатолий Васильевич (1993); д-р физ.-мат. наук Мигранов Наиль Галимханович (1993); д-р физ.-мат. наук Ибрагимов Наиль Хайрулович (1997); канд. физ.-мат. наук Мустаев Алмаз Флюорович (2001); инженер Севастьянова О.С. (1994); канд. физ.-мат. наук Гумеров Ш.А. (1994); д-р физ.-мат. наук Газизов Рафаил Кавыевич (1994); канд. физ.-мат. наук Юрьев В.А. (1995); канд. физ.-мат. наук Гареева Н.В.(1995); канд. физ.-мат. наук Абдарахманова Рима Петровна (1995); д-р физ.-мат. наук Байков Виталий Анварович (1995); Phd. Gazanfer Unal (1999); канд. физ.-мат. наук Гарифуллин Артур Рафаилевич (2003).

В лаборатории проводятся исследования, продолжающие тематику, начатую в секторе математической физики Отдела физики и математики Башкирского филиала АН СССР выдающимися учеными профессорами Н.Х. Ибрагимовым и А.Б. Шабатов. Кстати, оба они — выходцы из теоретического отдела Инсти-



Хабиров Салават Валеевич,
д-р физ.-мат. наук, профессор,
главный научный сотрудник,
заведующий лабораторией.



Основные направления исследований:

- ◆ классификация подмоделей механики жидкости и газа;
- ◆ физическая интерпретация симметричных решений дифференциальных уравнений механики.





Галимзянов Марат Назипович,
канд. физ.-мат. наук, доцент,
ст. науч. сотр.



**Михайленко Константин
Иванович,**
канд. физ.-мат. наук, доцент,
ст. науч. сотр.

тута гидродинамики СО РАН им. М.А. Лаврентьева, возглавляемого в то время знаменитым академиком Л.В. Овсянниковым. После Л.В. Овсянникова зав. отделом и директором института был назначен его ученик член-корреспондент РАН В.М. Тешуков. Эти исследования относятся к вопросу о разрешимости краевых задач с помощью симметрий дифференциальных уравнений. В лаборатории работали также д-р физ.-мат. наук А.В. Жибер, д-р физ.-мат. наук Н.Г. Мигранов, канд. физ.-мат. наук А.Ф. Мустаев.

За прошедшие годы д-р физ.-мат. наук С.В. Хабировым были классифицированы инвариантные подмодели динамики идеального газа и гидродинамики, рассмотрены классы частично-инвариантных решений в газовой динамике. Д-р физ.-мат. наук А.В. Жибером классифицированы интегрируемые уравнение гиперболического типа.

Среди новых результатов, полученных в последнее время, следует отметить алгоритм классификации дифференциально инвариантных подмоделей, предложенный д-р физ.-мат. наук С.В. Хабировым и апробированный им на модели газовой динамики. При этом было доказано существование непрерывных периодических радиальных движений газа в ограниченном объеме под действием поршня. Решена задача групповой классификации подмодели ранга 2 стационарного гидродинамического типа. Построена оптимальная система конечномерных подалгебр бесконечной алгебры уравнения теплопроводности. Составлена таблица инвариантов подалгебр малой размерности из оптимальной системы алгебры Ли, допускаемой уравнениями движения сжимаемой жидкости.

В лаборатории впервые получено решение задачи об асимптотическом схождении сферической детонационной волны по теплопроводному газу, тем самым С.В. Хабирову удалось найти обобщение классических результатов по схождению ударных волн. Проведена классификация ударных адиабат для случая, когда поток тепла от волны не пропорционален массе газа, проходящего через волну. Получено 9 типов ударных адиабат в зависимости от величины потока тепла и показателей адиабат по разные стороны детонационной волны. В каждом из девяти типов установлено существование предельного сжатия в сильной волне. Для автомодельного схождения сильной детонационной волны по теплопроводному газу установлены асимптотические формулы, при этом



для двух показателей автомодельности установлены допустимые области значений. Найдены значения показателей адиабат, когда асимптотика вполне определяется движением поршня, сжимающего газ. Приведены примеры неединственности решения задачи о схождении детонационной волны по теплопроводному газу. С.В. Хабиров доказал, также, существование непрерывного периодического радиального движения газа внутри сферического поршня.

Получены классы подалгебр любой конечной размерности для бесконечной алгебры, допускаемой уравнениями движения несжимаемой термовязкой жидкости. Для модели термовязкой жидкости выяснено групповое свойство, которое совпадает с групповым свойством модели вязкой жидкости. Построена оптимальная система подалгебр размерности 1, 2, 3, 4, допускаемых уравнениями движения термовязкой жидкости. Классифицированы инвариантные подмодели рангов 3 и 2.

А.Г. Гарифуллинным найдено частично инвариантное гладкое движение сжимаемой жидкости с транзвуковыми скоростями под действием сферического поршня.

За лабораторией закреплен институтский «Центр Интернет-технологий», руководителем которого является канд. физ.-мат. наук К.И. Михайленко. В ведении этого же подразделения находится и вычислительные ресурсы общего пользования. В качестве первых мощных вычислительных серверов Института были использованы две рабочие станции Compaq Alphastation 1000, приобретённые в 1998 году на средства международного гранта INCO-Copernicus и контракта на проведение фундаментальных научных исследований по заказу Минатома РФ. Они содержали по одному 64-битному процессору Alpha 21264, работающих на частоте 500МГц и по 1Гб оперативной памяти. Эти два компьютера использовались в качестве основных «числодробилок» на протяжении нескольких лет.

Даже в настоящее время, несмотря на то, что современные персональные компьютеры сравнимы с ними по производительности, многие сотрудники запускают свои расчёты на «Альфах» потому что это безотказные машины, работающие без сбоев круглые сутки из года в год. К тому же, имеется возможность заглянуть на них из дому через Интернет и проверить ход вычислений.



**Юлмухаметова (Тарасова)
Юлия Валерьевна**
канд. физ.-мат. наук, науч. сотр.



**Шаяхметова (Никонорова) Рената
Фаутовна** аспирант,
мл. науч. сотр.



Сираева Дилара Тахировна,
аспирант, мл. науч. сотр.

В 2006 году вычислительные мощности Института существенно возросли. Летом 2006 был собран вычислительный кластер, для построения которого была использована часть средств выделенных на оборудование нового корпуса, в который Институт и переехал.

Небольшой по своим размерам кластер построен на базе пяти компьютеров, содержащих по два процессора AMD Opteron. В качестве коммуникационной среды, связывающей компьютеры между собой, использована оптоволоконная сеть Myrinet. Такой выбор позволил достичь весьма значительной производительности 30 Gflops (30 миллиардов арифметических операций с плавающей запятой в секунду) на стандартном тесте HPL (High-Performace Linpack). Основное направление использования вычислительного кластера Института — небольшие параллельные расчёты, серийные вычисления и обучение лиц, заинтересованных в повышении вычислительной квалификации.



подпись



подпись



подпись



Результаты

Разработана теория построения иерархии подмоделей уравнений механики сплошной среды (С.В. Хабиров).

Разработана концепция построения иерархии подмоделей для моделей газовой динамики, допускающих алгебру Ли симметрий. Доказаны основные утверждения этой концепции, в основе которой лежит оптимальная система неподобных алгебр. По оптимальной системе строится граф вложенных подалгебр. Для подалгебр строятся дифференциально-инвариантные подмодели, вложенные друг в друга согласно графу. В соответствии с разработанной концепцией рассмотрены закрученные конические течения и обобщенные конические течения. Доказано, что обобщения конических течений редуцируются либо к функционально инвариантным плоским стационарным решениям, либо к двойной волне изобарических движений, либо к простой волне (С.В. Хабиров).

Впервые получено общее решение уравнений плоских изотермических движений идеального газа без расхождения (С.В. Хабиров).

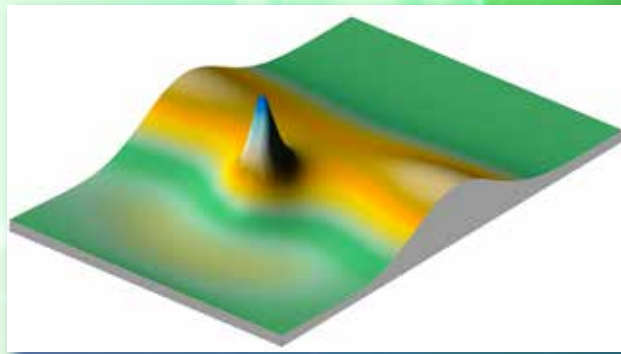
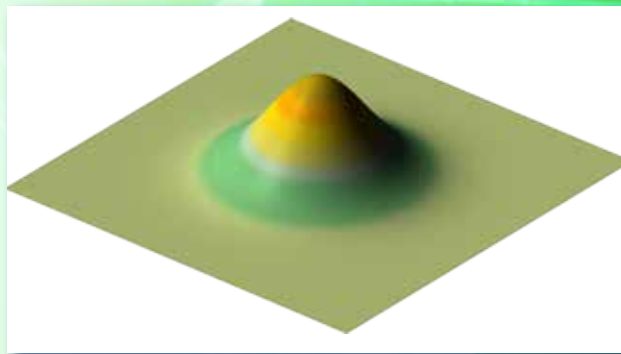
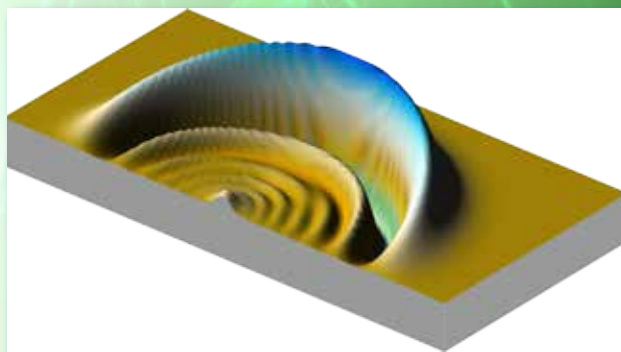
Установлено, что одномерная модель фильтрации газа имеет два закона сохранения, что расширяет допускаемую группу. Изучено групповое свойство. Классифицированы инвариантные подмодели. Интегральные кривые инвариантных подмоделей задают качественное и количественное затухание сгустков давления газа за счет стока и конечного давления на бесконечности (С.В. Хабиров).

Решена задача о выравнивании давления газа в пористой среде, заполняющей трубу с закрытым концом, при ударном воздействии. Скачок давления исчезает на конечном расстоянии от конца трубы (С.В. Хабиров).

Предложен метод нахождения точных решений уравнений газовой динамики с линейным полем скоростей. Найдены все точные решения для одномерной подмодели эволюционного типа в случае политропного газа. Изучены вихревые движения частиц для полученных решений (С.В. Хабиров).

Построены все инвариантные подмодели рангов 3 и 2 для одноатомного газа в каноническом виде для подалгебр, содержащих проективный оператор (Р.Ф. Шаяхметова).

Для инвариантной подмодели ранга 2 гидродинамического типа на подалгебре из суммы переносов в лагранжевых координатах найдены интегралы,



ПОДПИСЬ



Чиркунов Ю.А., Хабиров С.В.

Элементы симметричного анализа дифференциальных уравнений механики сплошной среды.

Новосибирск: НГТУ,
2012. 659 с.



определен тип системы, найдены точные решения. Для простейших из них представлена картина движения сплошной среды и движение слабых разрывов (Д.Т. Сираева).

Проведена классификация подмоделей гидродинамического типа с линейным полем скоростей (Ю.В. Юлмухаметова).

Рассмотрен метод нахождения точных решений уравнений газовой динамики с линейным полем скоростей. Данный метод был использован для нахождения точных решений одной подмодели эволюционного типа. В результате рассматриваемая подмодель была полностью интегрирована для случая политропного газа. Построены примеры движения частиц для полученных точных решений (Ю.В. Юлмухаметова).

Компактно представлена оптимальная система подалгебр с проективным оператором 13-мерной алгебры Ли, допускаемой уравнениями газовой динамики для одноатомного газа. Она содержит 73 представителя. Построен граф всех вложенных подалгебр, состоящий из 6 фрагментов. Для одной 4-мерной подалгебры построена иерархия вложенных инвариантных подмоделей (Р.Ф. Шаяхметова).

Проанализировано влияние протяженности волнового импульса на его динамику в пузырьковой среде в одномерном приближении. Численно исследовано воздействие ударно-волнового импульса на пузырьковую среду, имеющего переменный и постоянный характер воздействия. Установлены критерии усиления и гашения волн давления в зависимости от характеристик пузырьковой среды и импульса (А.А. Аганин, М.Н. Галимзянов).

Установлено, что при распространении импульсных сигналов в жидкости, содержащей пузырьковую завесу конечных размеров, когда пространственная протяженность импульса намного больше размеров завесы, внутри завесы может происходить нарастание амплитуды давления выше, чем амплитуда исходного сигнала; и наоборот, для достаточно коротких импульсов частицы, находящиеся внутри завесы, практически не чувствуют прохождения волнового импульса (В.Ш. Шагапов, М.Н. Галимзянов).

При падении волнового импульса на твердую стенку, покрытую пристенной пузырьковой завесой конечных размеров, в зависимости от параметров завесы (размеров пузырьковой зоны, объемного содержания газа в завесе, радиуса пузырьков), завеса может существенно уменьшить или увеличить воз-



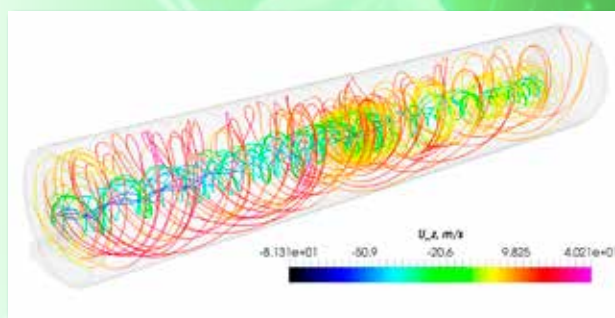
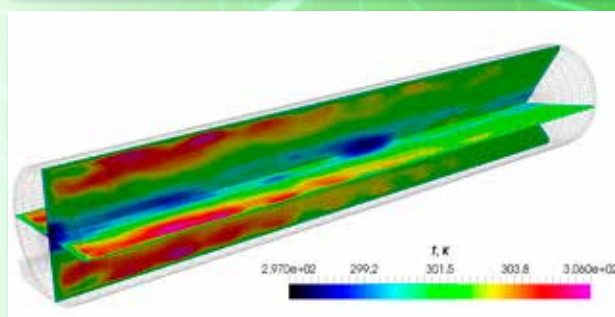
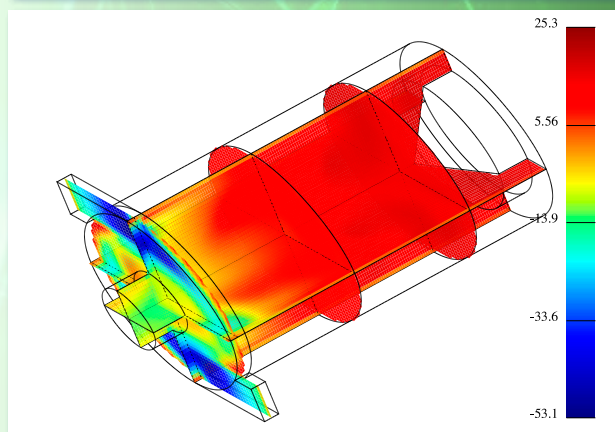
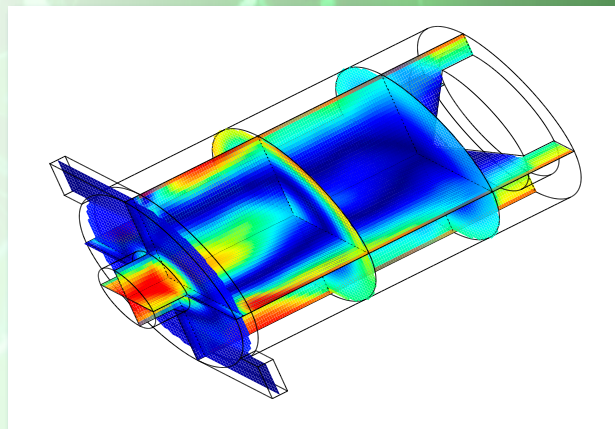
действие импульсного сигнала на стенку (В.Ш. Шагапов, М.Н. Галимзянов).

Показано, что при эволюции в однородной пузырьковой смеси колоколообразного по поперечной координате импульсного сигнала, когда его временная протяженность превышает период собственных колебаний пузырьков, в пузырьковой смеси формируется лидирующая волна, в случае соизмеримости этих характерных времен образуется расходящийся пакет волн (В.Ш. Шагапов, М.Н. Галимзянов).

Установлено, что распространение импульсного сигнала в кусочно-неоднородной по объемному содержанию пузырьков области сопровождается образованием в поперечном направлении профилей давления с пиками вблизи границ между слоями (В.Ш. Шагапов, М.Н. Галимзянов).

При распространении волны давления вдоль плоской стенки, покрытой неоднородным пузырьковым слоем с уменьшающимся объемным содержанием газовой фазы, происходит фокусировка импульсного сигнала к поверхности стенки (В.Ш. Шагапов, М.Н. Галимзянов).

С.В. Хабировым решены задачи об автомодельном схождении ударной волны по теплопроводному газу; о сопряжении инвариантных решений через слабые разрывы; о простых волнах на 7-мерной подалгебре всех переносов; о групповом анализе модели термовязкой несжимаемой жидкости; о течении газа со спиральными и винтовыми линиями уровня. Обобщены конические закрученные течения. Произведена классификация квазилинейных волновых уравнений специального вида; классификация дифференциально инвариантных подмоделей. Получены нерегулярные частично инвариантные решения ранга 2 дефекта 1. Проведен групповой анализ изотропной турбулентности.





Лаборатория «Робототехника и управление в технических системах»



Даринцев Олег Владимирович,
руководящий лабораторией,
д-р техн. наук, доцент,
глав. науч. сотр.

По инициативе Р.Р. Мавлютова в структуре Института механики был создан Отдел №3 — Управление мехатронными системами и комплексами под руководством доктора технических наук Б.Г. Ильёва, включающий в себя три лаборатории: управление сложными техническими объектами, робототехника и информационные технологии. Научные исследования проводились совместно с кафедрами УГАТУ: авиационные двигатели (д-р техн. наук И.А. Кривошеев, канд. техн. наук Д.А. Ахмедзянов), теоретическая механика (д-р техн. наук В.П. Ильчанинов), техническая кибернетика (д-р техн. наук Р.А. Мунасыпов), автоматизированные системы управления (д-р техн. наук Г.Г. Куликов, д-р техн. наук О.Д. Лянцев, д-р техн. наук В.Ю. Арьков, вычислительной техники и защиты информации (д-р техн. наук В.И. Васильев).



Основные направления исследований:

- ◆ исследование нелинейных многосвязных систем частотными методами;
- ◆ проектирование оптимальных, адаптивных и интеллектуальных систем управления динамическими объектами;
- ◆ проектирование микроробототехнических систем и комплексов;
- ◆ синтез и анализ систем управления микроэлектро-механическими системами.





С 2000 года отдел и все три лаборатории были преобразованы в одну — «Робототехника и управление в технических системах», которая функционирует и по настоящее время.

Коллектив, сложившийся за многие годы совместной работы, как на кафедрах УГАТУ, так и в Институте, имеет глубоко укоренившиеся традиции. В первую очередь следует отметить установившиеся продуктивные контакты с промышленными предприятиями и научно-производственными объединениями такими, как НПО «Мотор», ФГУП «Молния», НПО «Машиностроение», ЦИАМ, МАКБ «Темп». Сотрудники предприятий обучаются в аспирантуре, а аспиранты Института набираются практического опыта по проектированию систем непосредственно на предприятиях. Такое творческое сотрудничество позволяет не только проводить научные исследования, но и участвовать в анализе реальных результатов стендовых и натурных испытаний при доводке систем автоматического управления силовыми установками летательных аппаратов, энергетических газотурбинных комплексов.

К основным достижениям лаборатории относятся работы по созданию систем управления техническими объектами на основе теоретических положений, предложенных в трудах Б.Г. Ильёсова.

За последние 5 лет полученные результаты опубликованы в 6-ти монографиях, защищено 2 докторские и 3 кандидатские диссертации.

При проведении научных исследований по всем темам было получено более 40 патентов на системы управления двигателями и энергоустановками, конструкции микромеханизмов и схватов для роботов, устройства гидромеханических дозаторов топлива и т.д.

Работы, проводимые в лаборатории в области робототехники, были поддержаны Программами ОЭММиПУ РАН (№№ 16, 15, 1) и Президиума РАН (I.П40 и I.П31), заведующий лабораторией О.В. Даринцев включен в состав Научных Советов этих программ.

С 2016 года О.В. Даринцев является экспертом РАН в области робототехники, мехатроники и систем искусственного интеллекта.



**Денисова
Екатерина Всеволодовна,**
канд. техн. наук,
доцент, ведущий науч. сотр.



Мигранов Айрат Барисович,
канд. техн. наук,
ст. науч. сотр.



Богданов Динар Рафаэльевич,
науч. сотр.



Алексеев Александр Юрьевич,
мл. науч. сотр.

Результаты

К основным достижениям лаборатории относятся работы по созданию систем управления техническими объектами на основе теоретических положений, предложенных в трудах Б.Г. Ильясова.

Д-р техн. наук Б.Г. Ильясовым и канд. техн. наук Е.В. Денисовой разработана концепция самоорганизации управления сложными техническими объектами в иерархических многосвязных системах, основанная на изменении их структуры в динамических режимах с целью повышения эффективности процесса управления в целом. Концепция самоорганизации предусматривает также использование в динамике свободных регулирующих органов и дополнительной информации о состоянии системы, что позволяет значительно снизить динамические ошибки на режимах управления и стабилизации.

Частотный критерий устойчивости гетерогенных многосвязных систем управления, основанный на выделении представительских характеристик для каждого класса эквивалентности и на суждении об устойчивости всей системы по их расположению относительно корней уравнения связи, установлен в совместной работе Б.Г. Ильясова, Е.В. Денисовой и канд. техн. наук Г.А. Саитовой. Критерий дает достаточные условия устойчивости. Частотные критерии устойчивости для периодических движений в гомогенных (однотипных) нелинейных многосвязных системах, в том числе с нечеткими регуляторами в сепаратных подсистемах, рассмотрены Б.Г. Ильясовым, Е.В. Денисовой, Г.А. Саитовой совместно с Р.А. Мунасыповым. Критерии позволяют повысить эффективность системных исследований, выявляя автономное влияние как динамических характеристик сепаратных подсистем, так и многомерных элементов связей на устойчивость периодических движений многосвязной системы в целом.

Д-р техн. наук Б.Г. Ильясовым совместно с д-р техн. наук В.И. Васильевым предложена концепция построения интеллектуальных систем управления ГТД, основанная на вертикальной и горизонтальной декомпозиции процессов управления в рамках архитектуры открытых информационных систем. Рассмотрена общая процедура проектирования иерархических интеллектуальных систем управления ГТД, содержащих три соподчиненных уровня иерархии (исполнительный уровень, уровень координации



и уровень планирования). Установлена возможность применения многослойных нейронных сетей для решения задачи идентификации сложных динамических объектов на примере построения модели воздушно-го винта турбовинтовентиляторного двигателя (ТВВД) самолета АН-70. Разработан алгоритм нейросетевой идентификации ГТД как многосвязных динамических объектов в классе кусочно-линейных динамических моделей с изменяемыми коэффициентами. Построены формализованные алгоритмы синтеза и обучения многорежимных нейросетевых регуляторов ГТД на основе принципа минимальной сложности, обеспечивающие выполнение заданных требований к качеству процессов управления (астицизм, заданное время регулирования и величина перерегулирования переходных процессов) при минимальной сложности реализации нейронной сети. Изучены особенности применения предложенных алгоритмов синтеза для построения адаптивных и отказоустойчивых интеллектуальных систем управления.

Д-р техн. наук О.В. Даринцевым совместно с его учеником канд. техн. наук А.Б. Миграновым предложена архитектура многоуровневой виртуальной системы, содержащей стратегический, тактический и исполнительный уровни. Ее реализация стала возможной благодаря разработанной ими концепции построения виртуальных сред на основе быстросчетных моделей микросреды, микроорганизмов и базовых микровзаимодействий, формализованных и записанных в пространстве состояний. Как результат работы созданного программного обеспечения были построены:

- ◆ структура прогнозирующего управления микросборочными процессами, представляющая собой интеллектуальную систему управления с блоком предсказания, построенным в нейросетевом базисе;
- ◆ генетический алгоритм планирования оптимальных маршрутов для группы микророботов в среде с препятствиями и методика построения распределенных систем удаленного управления, объединяющая разнородные и разноплатформенные информационно-измерительные и управляющие системы в единое информационное пространство.

Было предложено при построении систем управления микромеханическими объектами усовершенствовать системный подход путем полного включения в канал управления окружающей среды, т.е. рассматривать внешнее окружение не только как



Черникова Марина Алексеевна,
мл. науч. сотр.



Налобина Елена Александровна,
ведущий инженер
по научно-технической
информации



подпись

источник возмущений и сигналов обратной связи, но и как еще один из способов воздействия на объект управления. Такой подход позволил построить интеллектуальные системы управления микрозахватными устройствами с более высокими эксплуатационными характеристиками: быстродействием, надежностью и повторяемостью (О.В. Даринцев).

Разработан целый ряд оригинальных подходов к реализации систем планирования траекторий мобильных роботов, при этом использовались различные интеллектуальные базисы: нечеткая логика, нейросети и генетические алгоритмы. Каждый из предложенных вариантов построения модулей планирования строился с учетом особенностей окружающей обстановки, размера коллектива и рабочего пространства, наличия статических и динамических препятствия и т.д. (А.Б. Мигранов).

Разработка систем управления гибкими многозвенными манипуляторами и обработки информации, поступающей с датчиков обратной связи. Оригинальность конструкции манипулятора подтверждена патентом РФ, специфика метода реализации перемещения рабочего органа в заданную точку рабочего пространства потребовала разработки нестандартных подходов при синтезе и реализации системы управления (Д.Р. Богданов).

Разрабатывает универсальную подвижную робототехническую платформу с расширенными ком-



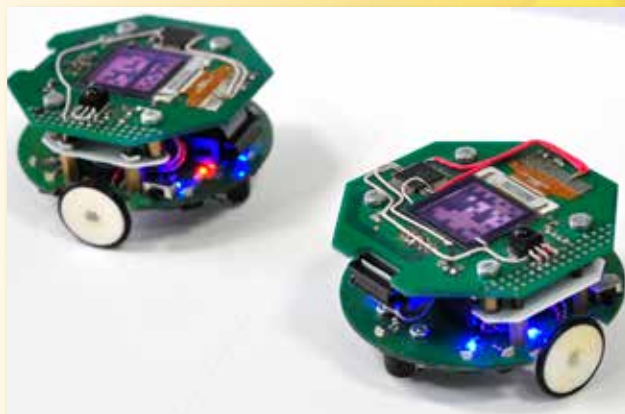
муникационными возможностями, необходимую для организации полунатурного экспериментального комплекса, на котором в дальнейшем будут отрабатываться методики управления распределенными мультиагентными системами (коллективами). Разработанная конструкция минибота отличается от известных аналогов большим временем автономной работы, поддержкой нескольких технологий организации связи (оптический, радиочастотные каналы обратной связи и управления) (А.Ю. Алексеев).

Разработаны архитектуры новых информационных систем для манипуляционных роботов с использованием RFID технологий, реализованы многоточечные комплексированные RFID- системы обратной связи. Синтезирована методика использования МЭМС датчиков в манипуляционных роботах, расширяющая функциональные и сенсорные возможности манипуляторов. Построены быстросчетные кинематические модели многозвенных манипуляторов, построенных на базе звеньев с управляемым изгибом (О.В. Даринцев, Д.Р. Богданов).

Разработана архитектура системы управления-планирования для робототехнических коллективов, учитывающая область применения мобильных роботов, и адаптированная под использование интеллектуальных алгоритмов. В отличие от известных решений построена гибридная (использующая одновременно или, в зависимости от решаемых задач, различные адаптивные и интеллектуальные алгоритмы) распределенная архитектура системы (О.В. Даринцев, А.Б. Мигранов).

Разработано алгоритмическое и программное обеспечение сенсорных (оптических систем, базирующихся на использовании двумерных бинарных кодов) систем для реализации распределенного управления коллективами мобильных роботов (О.В. Даринцев, А.Ю. Алексеев).

Получены новые методики проектирования элементов гидроавтоматики с учетом специфики протекающих процессов и конструктивных особенностей, методика синтеза специализированного алгоритмического обеспечения для моделирования проектируемых устройств (Е.В. Денисова, Э.Ш. Насибуллаева).



ПОДПИСЬ



Лаборатория «Моделирование технологических процессов»



Шагапов
Владислав Шайхулағзамович



Богданов
Рашид Мирзажанович

Во Институте механики создана школа по гидродинамическим методам моделирования технологических процессов и экологических задач, объединяющая большую группу исследователей Республики Башкортостан из г. Уфы, г. Стерлитамака и г. Бирска. Возглавляет объединенный коллектив д-р физ.-мат. наук В.Ш. Шагапов. В течение десяти лет им подготовлено свыше двадцати кандидатов наук и три доктора наук.

Важные результаты при исследовании двумерных эффектов в пузырьковых системах были получены Ильясом Гималтдиновым (1998) и Маратом Галимзяновым (2004). В совместных работах ими были установлены основные закономерности прохождения волновых импульсов давления через пузырьковые завесы. Численно установлены области параметров, при которых происходит фокусировка импульса, увеличение или уменьшение амплитуды давления при его падении на преграду.



Основные направления исследований:

- ◆ математическое моделирование технологических процессов;
- ◆ ударные и детонационные волны в пузырьковых системах;
- ◆ разработка методик и пакетов прикладных программ для расчетов и оптимизации процессов в трубопроводном транспорте.





Подготовку в институте под руководством В.Ш. Шагапова прошли докторанты канд. физ.-мат. наук И.К. Гималтдинов, успешно защитивший докторскую диссертацию в 2005г. на тему «Двумерные волны в пузырьковой жидкости» и подготовивший к защите свою работу по моделированию выбросов в атмосферу канд. физ.-мат. наук И.М. Баянов.

В лаборатории под руководством С.Ф. Урманчева был выполнен цикл исследований в области динамики насыщенных пористых сред.

Сергеем Лукиным (2007) были рассмотрены задачи о влиянии различных видов межфазных взаимодействий на особенности затухания волн давления в пористых средах переменной пористости. Прикладной аспект этих исследований связан с созданием программного обеспечения приборов для акустического зондирования призабойной зоны пластов.

Решён, также, ряд задач, связанных с численным моделированием взаимодействия реагирующих газов с пористой средой. Данияром Балапановым (2011) на основе метода WENO-5 был разработан программный продукт для численного исследования газодинамических течений с ударными волнами. Выполнены численные исследования по режимам горения газовых смесей в инертных пористых средах и проведён анализ условий формирования детонационного режима. Кроме того была решена задача численного расчета каталитического окисления сероводорода в блочном катализаторе сотового типа.

Задачи численного моделирования потоков реагирующих жидкостей, взаимодействующих с пористыми и гранулированными средами, рассмотрены Константином Михайленко (1999). В его работе было получено объяснение причины возникновения так называемого «эффекта заячьих ушей» в пристеночной области потока на выходе из зоны, занятой слоем пористого материала. Результаты этой работы могут быть применены для анализа функционирования каталитического реактора с насыпным слоем катализатора. Далее К.М. Михайленко и С.Ф. Урманчевым были установлены закономерности распределения реагентов в потоке мелкодисперсного катализатора при подаче восстанавливающего агента в райзер лифт-реактора. Результаты численных исследований были использованы при проведении опытно-промышленного пробег на установке каталитического крекинга типа 43-107 ОАО «Уфимский НПЗ». В итоге было найдено технологическое решение, которое



Жигулин
Денис



Дмитриев
Олег Васильевич



Лукин
Сергей Владимирович



обеспечило снижение содержания фенола в конденсате на 40-50% в период опытно-промышленного пробег. Эта работа была выполнена совместно с коллегами из Отдела оптимизации и моделирования технологических процессов ГУП «Институт Нефтехимпереработки» (директор института д-р техн. наук Э.Г. Теляшев, заведующий отделом канд. техн. наук Р.Р. Везиров).



Д-р физ.-мат. наук, профессор
О.В. Даринцев

Шагапов Владислав Шайхулагзамович — Академик Академии наук Республики Башкортостан, Заслуженный деятель науки Республики Башкортостан, доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник Института механики им. Р.Р. Мавлютова УФИЦ РАН.

Достижения

В.Ш. Шагапов — крупный ученый в области изучения совместного движения твердых, жидких и газообразных тел, сопровождаемого физическими и химическими превращениями, а также компьютерным моделированием технологических и гуманитарных процессов.

Его научные интересы связаны с волновой динамикой газожидкостных систем, акустикой насыщенных пористых сред, фильтрационными течениями с фазовыми превращениями, гидродинамикой двухфазных потоков со склеротическими осложнениями, математическим моделированием химических реакторов, динамикой атмосферных выбросов.

Он развил теорию нелинейных и детонационных волн в неоднородных пузырьковых жидкостях; теорию гидравлики двухфазных потоков, сопровождающихся образованием склеротических бляшек на стенках каналов для процессов в трубчатых печах. Разработал теоретические основы дистанционного и локального способов акустического зондирования прискважинных зон открытых участков газовых и нефтяных скважин. Построил теорию разрушения и образования газогидратов в пористых средах. Создал теоретические основы для ряда химико-технологических процессов.

Он — автор более 300 научных трудов, в т.ч. 10 изобретений. Среди его учеников 6 доктора и более 50 кандидатов наук.

С 1995 года В.Ш. Шагапов — главный научный сотрудник Института механики им Р.Р. Мавлютова Уфимского научного центра РАН, с 1996 г. — профессор, в 2001 — 2005 гг. — заведующий кафедрой при-



кладной математики и механики Стерлитамакской государственной педагогической академии, в 2004 — 2015 гг. заведующий кафедрой прикладной математики и механики Бирской государственной социально-педагогической академии.

В.Ш. Шагапов — лауреат Премии комсомола Башкирии (1978), дипломант конкурса фундаментальных исследований по СО РАН (1991).

За многолетнюю и плодотворную работу в сфере науки и образования Владислав Шайхулагзамович Шагапов награжден Почётной Грамотой Российской академии наук (2008), Почетной Грамотой Администрации городского округа город Уфа Республики Башкортостан (2017) и Почетной Грамотой городского округа город Уфа Республики Башкортостан (2017).

Под руководством канд. техн. наук Р.М. Богданова в лаборатории был разработан ряд методик и программных продуктов для нефтяной промышленности. В работе принимали участие выпускники математического факультета Башгосуниверситета: Игорь Болотов, в дальнейшем — аспирант Ренсселайрского политехнического института, а ныне — профессор Университета Северной Каролины (США); Сергей Лукин — в настоящее время сотрудник ООО «Газпромнефть НТЦ» в Санкт-Петербурге и Денис Жигулин. К достижениям лаборатории следует отнести следующий перечень работ, выполненных по заказу промышленных предприятий и компаний:

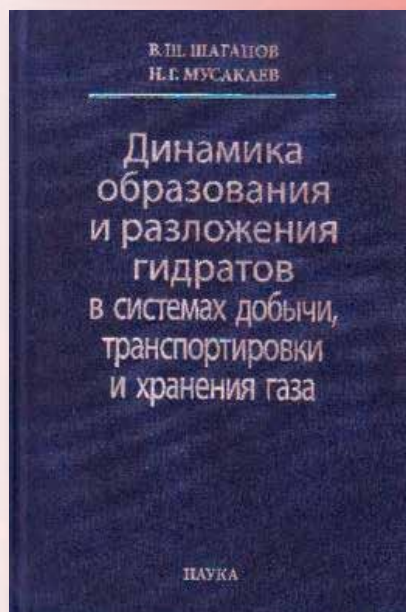
- ◆ Методика оценки эффективности использования электроэнергии на перекачку нефти в условиях снижения объемов перекачки. Утв. ОАО «АК «Транснефть» 22.03.2000г.

- ◆ Методика расчета структуры энергозатрат при перекачке нефти по трубопроводам. Используется при проведении энергетических обследований (энергоаудит) на объектах ОАО «АК «Транснефть».

- ◆ Пакет прикладных программ оптимального управления разветвленной системой магистральных нефтепроводов. Пакет программ внедрен в ОАО «Уралсибнефтепровод» и используется ими с 2001 г.

- ◆ Методология энергосберегающей технологии, применительно для систем нефтепроводов ОАО «Уралсибнефтепровод», используется в ОАО «Уралсибнефтепровод» с 2004 г.

- ◆ Программный комплекс РоПаРТ Расчет оптимальных параметров работы трубопроводов. Программный комплекс зарегистрирован в РОСПАТЕНТ



Динамика образования и разложения гидратов в системах добычи, транспортировки и хранения газа



под № 2003610769. Используется специалистами ИМех УНЦ РАН при проведении энергетических обследований.

- ◆ Программный комплекс Comput. Расчеты по определению эффективности использования электроэнергии при трубопроводном транспорте нефти. Используется специалистами ИМех УНЦ РАН при проведении энергетических обследований на объектах ОАО «АК «Транснефть».

- ◆ Методика и программный комплекс «Методика расчета бурильной колонны в технологических операциях строительства подводных переходов магистральных нефтепроводов методом направленного бурения». Внедрено в 2005 г. в ОАО «АК «ТРАНСНЕФТЬ».

- ◆ Технологический регламент эксплуатации магистральных нефтепроводов ОАО «Уралсибнефтепровод» с самотечными участками. Внедрен в ОАО «Уралсибнефтепровод» в 2006 г.





Лаборатория «Экспериментальная гидродинамика»

Лаборатория экспериментальной гидродинамики организована в ИМех УНЦ РАН в 2003 году. Изначально лаборатория размещалась по адресу Карла Маркса 6, в одной из комнат флигеля президиума УНЦ РАН и финансировалась Уфимским филиалом ООО «ЮганскНИПИНефть» (с 2001 г.). С самого начала лабораторией заведует Альфир Тимирзянович Ахметов, переведенный из Тюменского филиала ИТПМ СО РАН, где был заведующим лабораторией механики многофазных сред. (Лаборатория вела изучение распространения ударных волн в сложных гетерогенных системах и влияния на них ударных нагрузжений, экспериментальные исследования многофазных течений в микроканалах различных конфигураций и процессов фильтрации гетерогенных сред.)

Вначале в лаборатории преобладал молодежный состав: инженер В.В. Глухов, студенты М.В. Мавлетов, С.П. Саметов. Лаборатория развивалась при тесном сотрудничестве с кафедрами прикладной физики и геофизики БашГУ, Уфимским филиалом ООО «ЮганскНИПИнефть», Тюменским филиалом ИТПМ СО РАН.



Ахметов Альфир Тимирзянович,
заведующий лабораторией,
канд. физ.-мат. наук,
ст. науч. сотр.



Основные направления исследований:

- ◆ микрогидродинамика дисперсных и биологических сред;
- ◆ фильтрация многофазных систем;
- ◆ ударные волны в гетерогенных средах.





Рахимов Артур Ашотович,
научный сотрудник,
канд. физ.-мат. наук



Саметов Сергей Павлович,
научный сотрудник,
канд. физ.-мат. наук

Значительное развитие лаборатории произошло после переезда в новое здание Института механики УНЦ РАН (Проспект Октября, 71). Появилось современное оборудование по реометрии, визуализации и регистрации динамических процессов в микроканалах. Была реанимирована установка по исследованию распространения ударных волн в сложных средах на базе ударной трубы, разработанной, спроектированной и изготовленной под руководством А.Ш. Азаматова. Эксплуатацию уникальной ударной трубы, рассчитанной на высокие давления (250 бар), и исследование результатов нагружений в пузырьковых средах он проводил вместе с Е.Н. Михайловым. Ему, в итоге, удалось разгадать причину аномального усиления ударных волн в бентонитовых суспензиях. Вопрос о причине этого явления был предметом острой дискуссии двух академиков А.Х. Мирзаджанзаде и Р.И. Нигматулина.

Существенно пополнился и состав лаборатории: А.А. Рахимов, К.Р. Закиров. «Реанимация» ударной трубы была осуществлена силами М.В. Мавлетова, Р.М. Исламгулова, К.Р. Закирова, Д.М. Балапанова. Большой вклад в развитие экспериментальной базы лаборатории внес искусный экспериментатор А.В. Васильев, чей опыт экспериментатора-ювелира помог решению задач, связанных с микрофлюидикой (микрогидродинамика).

Обнаруженный в 2003г. совместно с А.Г. Телиным эффект динамического запираания инвертных эмульсий в микроканалах (снижение скорости течения в тысячи раз, несмотря на постоянно действующий перепад давления) был детально изучен аспирантами М.В. Мавлетовым, С.П. Саметовым и А.А. Рахимовым, сотруднику К.Р. Закирову удалось его обнаружить при течении крови. По результатам своих исследований они успешно защитили кандидатские диссертации. Этот эффект при течении эмульсий из простых химических составляющих, как прямых, так и обратных, был подтверждён аспирантом А.А. Валиевым. Неожиданные результаты, связанные с распространением ударных волн в водогазонасыщенных насыпных средах, были получены студентами-дипломниками кафедры геофизики и аспирантом А.А. Журовым.

Большое значение для качественного изменения уровня исследований микромасштабных структур гидродинамики в лаборатории оказывает сотрудничество с Центром Микро-наномасштабной динамики дисперсных систем в БашГУ и кафедрами геофизики и прикладной физики. За годы существования лабо-



ратории экспериментальной гидродинамики десятки студентов и дипломников в ней прошли свою производственную практику, выполнили дипломные работы и магистерские диссертации. Лаборатория имеет тесный контакт с ведущими университетами Уфы: Башкирский государственный университет, Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфимский нефтяной технический университет, Башкирский государственный медицинский университет.

Интересные результаты по проявлению анизотропии крови в микроканалах, имитирующих стеноз, были получены при сотрудничестве с выходцем из нашего Института Д.Б. Хисматуллиным, профессором Тулейнского университета (Новый Орлеан).

Результаты

Основные результаты связаны с развитием микрогидродинамики (microfluidic) дисперсных и биологических сред, распространением ударных волн в гетерогенных средах. В качестве микроканалов использовались как традиционные микрожидкостные устройства (ячейка Хили-Шоу, стеклянный капилляр), так и изготовленные методом фотолитографии и мягкой литографии микроканалы различной геометрии и топологии. Следует особо отметить оригинальную разборную микромодель, которая была изготовлена фотолитографическим методом на основе аншлифа нефтеносной породы и интерференционных пластин, отображающую структуру пор реального керна.

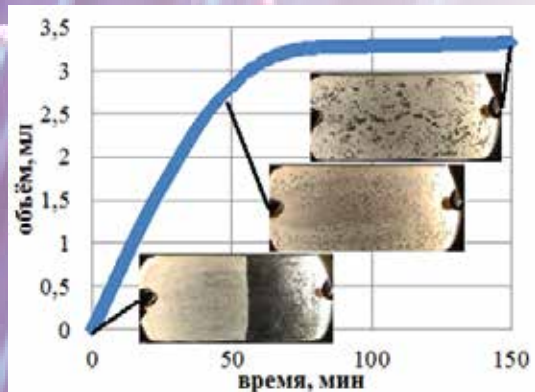
Экспериментальные исследования прохождения ударных волн через пористые среды, насыщенные смесью жидкости и газа, позволили установить немонотонную зависимость коэффициента затухания от влагонасыщенности песка. При малых значениях концентрации влаги до 10% возникают демпфирующие силы, обусловленные расклинивающим давлением жидкости, проникающей между частицами, что приводит к существенному затуханию импульса. С увеличением влагонасыщенности от 10% до 90% происходит уменьшение затухания и увеличение проходящего импульса давления. При дальнейшем росте содержания влаги кластерное распределение газа преобразуется в пузырьковое, взаимодействие пузырьков с ударной волной сжатия приводит к интенсивному затуханию амплитуды импульса. При воздействии ударной волны на поверхность пористой среды немонотонная зависимость давления, после прохождения насыпной структуры, на дне пористого образца



Валиев Азат Ахматович,
мл. науч. сотр.



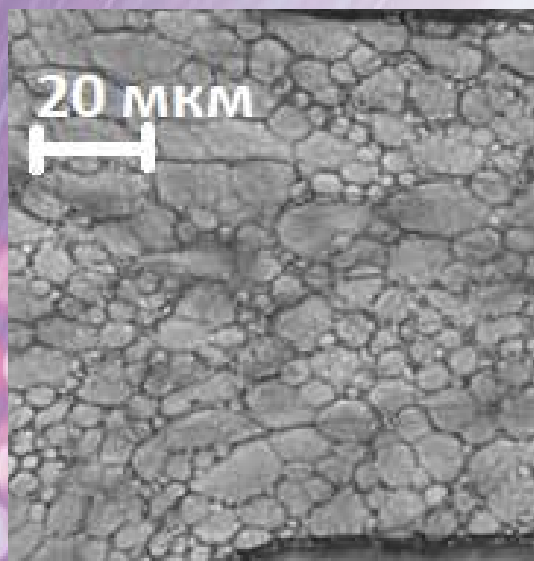
Огуречников Глеб Валерьевич,
инженер



Динамическое запирание эмульсии из простых химических соединений



Микрофотография частично деструктурировавшей эмульсии в состоянии динамического запирания в ячейке Хеле-Шоу



Деформация микрокапель эмульсии, ширина рисунка 100 мкм

от содержания влаги свидетельствует об изменении характера механизмов межфазных взаимодействий при изменении влагонасыщенности. Удивительно, что при 100% водонасыщении насыпной среды скорость ударной волны такая же низкая, а поглощение высокое, как и при 99% насыщении. Оказалось, что это связано с микропызурьками на поверхности твердых частичек насыпки. Скорость возросла в несколько раз, а поглощение уменьшилось после предварительного вакуумирования водонасыщенной насыпной среды. (А.Т. Ахметов, С.В. Лукин, А.А. Журов).

Эффект динамического запирания первоначально был обнаружен при течении в микроканалах технических инвертных водонефтяных эмульсий. Оказалось, что течение эмульсий, состоящих из простых химических соединений, также обнаруживает это свойство, что говорит о фундаментальности обнаруженного эффекта. Использование красителей позволило идентифицировать фазы деструктурировавшей эмульсии в состоянии динамического запирания при течении в модели трещины — ячейке Хеле-Шоу. Экспериментально установлены закономерности изменения структуры течения эмульсий при кратковременном сбросе давления в капилляре в состоянии динамического запирания, приводящем к значительному росту расхода эмульсии. Эффект обусловлен восстановлением сферической формы частиц дисперсной фазы и соответствующим увеличением пространства между ними (А.А. Валиев).

Сравнительное исследование прямых и обратных эмульсий с двумя различными распределениями размеров капель, при одном и том же составе, обнаруживает увеличение вязкости с уменьшением среднего размера капель. Использование микрожидкостных устройств, изготовленных методом мягкой фотолитографии с помощью высокоскоростной микросъемки, позволило обнаружить деформацию микрокапель воды обратной эмульсии из простых химических соединений в гидродинамическом потоке (А.А. Рахимов). Полученные результаты наглядно подтверждают гипотезу о роли деформации капель в механизме динамического запирания. При течении прямых эмульсий через участок цилиндрического микроканала обнаружен, также как ранее с обратными эмульсиями, эффект динамического запирания. Структура течения по мере перехода в состояние динамического запирания претерпевает изменения подобно картинам, полученным с обратными эмульсиями. Обнаруженный эффект динамического запирания является важ-



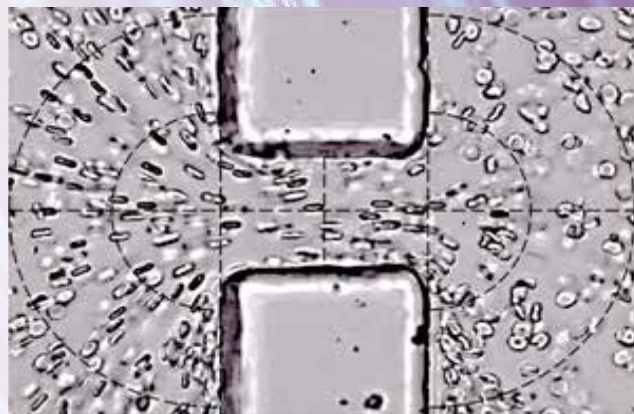
ным при разработке новых технологий выравнивания профиля приемистости нагнетательных скважин и технологии щадящего глушения скважин с блокирующей пачкой (А.Т. Ахметов, А.А. Рахимов, А.А. Валиев).

Разработаны и изготовлены два типа акустических микрожидкостных устройств (МЖУ): с прямолинейным участком со ступенчатым сужением, моделирующим стеноз, и участком с бифуркацией в два микроканала, один из которых с сужением. Оба типа МЖУ изготовлены методом мягкой фотолитографии, на предметном стекле, на которое приклеен пьезоэлемент, создающий акустическое излучение при подаче на него переменного электрического напряжения от генератора в диапазоне до 5 МГц. В человеческом организме соотношение сечений при ветвлении кровеносных сосудов по статистике возрастает в 1.2 раза, которое и использовалось при разработке каналов с бифуркацией. Участок с сужением, моделирующим стеноз и используемый в обоих типах МЖУ, имеет размеры 50 × 100 мкм (глубина 50 мкм). С помощью свипирования (развертка по частотам) в диапазоне 1–5000 кГц были обнаружены частоты в ультразвуковом диапазоне 25–30 кГц и 70–100 кГц, активно влияющие на межклеточное взаимодействие в обоих типах МЖУ. Гидростатическим насосом в МЖУ организуется направленное течение при перепаде давления 0,1–0,5 кПа. Обнаружено, что поток крови, несмотря на наличие постоянного гидростатического перепада давления, в ультразвуковом поле совершает возвратно-поступательные движения в области сужения микроканала с частотой 1–2 Гц. Низкочастотное возвратно-поступательное движение, вероятно, связано с резонансными свойствами микроканала в области стеноза. Интенсивность поля измерялась игольчатым гидрофоном и выбиралась ниже кавитационного порога не более 50 кПа. Полученные результаты говорят о возможности акустического воздействия в области стеноза с целью активации движения крови для предотвращения тромбообразования (А.Т. Ахметов, С.П. Саметов, А.А. Рахимов, А.А. Валиев).

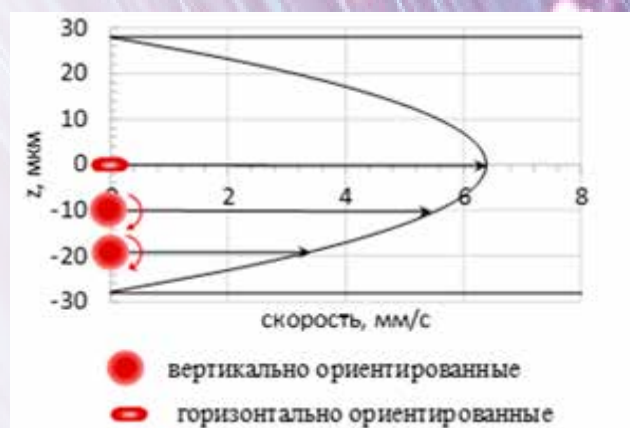
Анализ особенностей сложной биологической дисперсии, содержащей эритроциты, позволил обосновать методику измерения реологических свойств крови на прецизионном реометре, учитывающую седиментацию эритроцитов и образование монетных столбиков. Реологическая кривая для крови в виде степенной функции с высокой степенью достоверности аппроксимирует данные экспериментальных



Микроканал со стенозом, длина 6 мм, ширина 1 мм, глубина 50 мкм, стеноз: длина 100 мкм, ширина и глубина 50 мкм



Разбавленная кровь (1%), течение слева-направо



Распределение эритроцитов по глубине



Цельная кровь, использовалось наложение двух последовательных кадров скоростной видеосъемки (7000 кадров/с)



измерений. Неньютоновские свойства крови сильнее проявляются при малых скоростях деформации сдвига, что существенно увеличивает сопротивление кровеносных сосудов при образовании стеноза. На основе экспериментальных измерений объемного расхода крови через плоский микроканал с сужением и расчетов для цилиндрического микроканала с сужением установлено синергетическое возрастание гидравлического сопротивления при стенозе кровеносного сосуда за счет двух факторов: 1) замедление течения из-за уменьшения сечения в районе стеноза; 2) замедление течения из-за увеличения вязкости крови в здоровой части сосуда (А.Т. Ахметов, А.А. Рахимов, А.А. Валиев).

Эритроциты имеют форму двояковогнутых дисков, в связи с этим у них имеется ещё одно название — «дискоциты». Использование природных дискоцитов позволило обнаружить необычные особенности в структуре течения в микроканале с сужением, имитирующем стеноз кровеносных сосудов, как одиночных анизотропных элементов в жидкости, так и при высоких концентрациях, соответствующих цельной крови. В разбавленной крови обнаружена асимметрия структуры потока у входа и выхода в сужение. В зоне ускорения течения эритроциты ориентируются вдоль линий тока, а в зоне торможения — перемещаются в область больших скоростей по глубине в ячейке Хеле-Шоу и ориентируются параллельно плоскости ячейки. При большой концентрации эритроцитов такое перемещение невозможно, это отчасти объясняет различие структуры в ориентации эритроцитов разбавленной и нативной крови выходной зоны (А.Т. Ахметов, С.П. Саметов, А.А. Рахимов, А.А. Валиев).

Следует отметить, что ориентация эритроцитов в потоке цельной крови и в разбавленной (1% эритроцитов) существенно отличаются, особенно в области торможения после стеноза. Образующаяся упаковка параллельных друг другу эритроцитов, после прохождения нативной кровью стеноза, позволяет предположить, что процесс тромбообразования более вероятен в области кровеносного сосуда, в котором ориентация движущихся дискоцитов перпендикулярна к линиям тока, т.е. после сужения. По всей видимости в кровеносных цилиндрических сосудах при течении цельной крови ориентация эритроцитов по отношению к линиям тока в области после стеноза будет подобна течению в плоском канале (А.Т. Ахметов, А.А. Валиев, А.А. Рахимов, С.П. Саметов).



Рафикова
Гузаль Ринатовна



Огуречникова
Жанна Глебовна

Рафикова Гузаль Ринатовна —
Ученый секретарь

Огуречникова Жанна Глебовна —
главный бухгалтер

**Хрулёва Евгения
Александровна** — ведущий
экономист

Гаймалова Зухра Фаниловна —
ведущий бухгалтер

Бушуева Любовь Сергеевна —
секретарь

Выдрина Альгуль Флюоровна —
помощник директора



Хрулёва
Евгения Александровна



Гаймалова
Зухра Фаниловна



Бушуева
Любовь Сергеевна



Выдрина
Альгуль Флюоровна