

УДК 532

**РАЗВИТИЕ ГИДРОМЕХАНИКИ
В НИИ МАТЕМАТИКИ И МЕХАНИКИ
ИМ. Н.Г. ЧЕБОТАРЕВА КАЗАНСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА**

**Доклад на торжественном заседании,
посвященном 200-летию КГУ и 70-летию НИИММ,
28 сентября 2004 г.**

А.В. Кузнецов

Гидромеханика оформилась как наука еще в XVIII веке, но и сегодня, несмотря на почтенный возраст, продолжает непрерывно развиваться. Происходят расширение ее методов и понимание изучаемых ею явлений, расширяется круг областей техники и естествознания, которые она призвана обслуживать, и задач, которые она должна решать.

Современный этап развития гидромеханики характерен широким применением электронных вычислительных средств и методов вычислений, благодаря которым стали доступными не только расчеты, ранее немислимые из-за их сложности, но и эксперименты на вычислительных машинах, дополняющие, а нередко и вовсе заменяющие натурные. Применение ЭВМ характеризует качественный скачок в гидромеханике.

Гидромеханика, как раздел механики, является составной частью дисциплин, включаемых в учебные планы обучения студентов в ВУЗах естественно-технического профиля.

Исследования по гидромеханике в НИИММ начались и развивались в тесном взаимодействии с кафедрами механики КГУ по следующим направлениям:

- обратные краевые задачи (ОКЗ) аэродинамики;
- подземная гидромеханика и теория фильтрации;
- течения жидкости со свободными границами;
- неравновесные течения излучающего газа.

1. Обратные краевые задачи (ОКЗ) аэродинамики

Исследования по этому направлению начались с приходом на заведование кафедрой механики в 1944 году Г.Г. Тумашева. Основы ОКЗ были заложены в докторских диссертациях Г.Г. Тумашева (1946 г.) и М.Т. Нужиной (1954 г.).

Исследования по ОКЗА в НИИММ успешно продолжаются до сих пор. Достигнуты существенные продвижения по развитию теории и методов расчета различных течений жидкости и газа. Опубликовано большое количество статей и несколько монографий, отмеченных наградами республиканского и союзного значения.

Мы не останавливаемся более детально на характеристике этого направления исследования в НИИММ, так как ему посвящен отдельный доклад.



Семинар по подземной гидромеханике, 1952 г.

2. Подземная гидромеханика и теория фильтрации

Исследования по подземной гидромеханике в НИИММ ведутся также с начала 50-х годов прошлого века. Они были вызваны развитием добычи нефти в Республике и рекомендацией Татарского ОК КПСС ученым республики оказать помощь нефтедобывающей промышленности.

В 1951 году в Казани был организован городской семинар по подземной гидромеханике. Его участниками стали преподаватели, сотрудники и аспиранты КГУ и КФТИ КФАН СССР, а руководителями – профессора Г.Г. Тумашев и Г.С. Салехов. Были установлены контакты и заключен договор о творческом сотрудничестве с объединением «Татнефть». Вопросы, обсуждавшиеся на семинаре, на длительное время определили тематику исследований казанских ученых по подземной гидромеханике. Она была связана с проблемой рациональной разработки нефтяных месторождений. Позднее эта проблема трансформировалась в комплексную программу КГУ по нефтяной тематике, в которую были вовлечены все факультеты университета естественного направления. Исследования координировались Советом во главе с ректором М.Т. Нужиным.

В НИИММ исследования начались в малочисленном секторе механики (зав. С.С. Сайкин), который вскоре пополнился молодыми сотрудниками – выпускниками кафедры механики (Р.М. Насыров, Ю.М. Молокович, Б.И. Плещинский, А.Я. Чилап). Затем сектор был преобразован в отдел подземной гидромеханики с лабораторией, в которой велись экспериментальные исследования фильтрации нефти на физических моделях нефтяного пласта (Б.И. Плещинский), а также методами электромоделирования (Б.А. Мифтахутдинов).

Физические модели были сконструированы и созданы руками сотрудников лаборатории. Создание лаборатории проходило при непосредственном участии Г.Г. Тумашева, который в это время был директором НИИММ, и В.Я. Булыгина.



Сотрудники лаборатории подземной гидромеханики готовят модель нефтяного пласта к проведению экспериментов, 60-е годы XX века

На моделях изучались продвижение водонефтяного контакта (ВНК) при вытеснении нефти водой в однородной и кусочно-неоднородной пористой среде, фильтрация неньютоновских жидкостей. Результаты использовались в теоретических исследованиях сотрудников отдела и кафедры.

Г.Г. Тумашев сам включается в научные исследования по нефтяной тематике и привлекает к ней аспирантов. В первой же работе по теории фильтрации и в задаче о стягивании контура нефтеносности (1953 г.) он применяет эффективный прием решения краевой задачи, основанный на использовании аппарата теории потенциала. Такой подход неоднократно использовался им самим и его учениками в задачах фильтрации, а позднее – в задачах гидродинамики течений со свободной границей. По нефтяной тематике Г.Г. Тумашевым было опубликовано свыше 20 работ.

Заседания семинара проходили регулярно, с большим числом участников и вскоре на них уже были сделаны доклады с результатами самостоятельных исследований, появились публикации. В 1958 году вышел первый тематический сборник «Труды по теории фильтрации» под редакцией и при участии Г.Г. Тумашева. Среди авторов – В.Я. Булыгин, С.С. Сайкин, Ю.М. Молокович, Г.В. Голубев, В.А. Стрежнев, А.Я. Чилап. Впоследствии все они стали докторами наук. С их именами связаны крупные достижения в области подземной гидромеханики.

К концу 60-х годов экспериментами на нефтяных месторождениях группой Н.Н. Непримерова было установлено, что многие нефти обладают аномальными свойствами, движение их не описывается линейным законом. С 1968 года в отделе и лаборатории подземной гидромеханики под руководством Ю.М. Молоковича начались исследования по нелинейной теории фильтрации в нефтяных пластах. В 1978 году Ю.М. Молоковичем была защищена докторская диссертация «Фильтрация жидкостей в условиях проявления релаксационных и нелинейных эффектов», содержащая разработку феноменологических моделей фильтрации и методы решения соответствующих задач.



На семинаре по краевым задачам, 1965 г.

Докторская диссертация Э.В. Скворцова (1981 г.) была посвящена решению задач фильтрации вязкопластической жидкости методами теории струй, разработанных в отделе гидромеханики. В исследованиях по нелинейной фильтрации также участвовали Ф.Ш. Муллануров, П.П. Осипов, В.Ф. Шарафутдинов, экспериментаторы Ю.А. Корнильцев, Б.А. Мифтахутдинов, защитившие по этой тематике кандидатские диссертации.

Е.Г. Шешуков с учениками в эти же годы успешно занимался исследованием нелинейной фильтрации в гидротехнических сооружениях (докторская диссертация 1984 г.).

Следующим крупным достижением в развитии теории фильтрации стала докторская диссертация А.В. Костерина «Основные уравнения и вариационные методы расчета изотермической фильтрации» (1987 г.), в которой на основе термодинамики необратимых процессов был разработан общий подход построения моделей фильтрации в деформируемых пористых средах, развиты вариационная теория нелинейной консолидации и вариационные методы решения краевых задач фильтрации. Эта работа открыла новые возможности исследования задач фильтрации жидкостей со сложными реологическими свойствами в нефтяных пластах и в других средах. С конца 80-х годов под научным руководством А.В. Костерина в НИИММ ведутся исследования по теме «Массоперенос в пористых средах с учетом физико-химических явлений». Она включает широкий круг задач: моделирование нестационарных процессов в деформируемых насыщенных пористых средах, фильтрация в неоднородных пластах с учетом физико-химических явлений, моделирование физико-химических процессов при фильтрации растворов, процессы тепломассопереноса с учетом фазовых переходов в фильтрующих грунтах (замораживание).

Результаты исследований получили высокую оценку специалистов. Они находят применение при выполнении совместных научных и научно-практических работ с АО «Татнефть», Татарским геологическим управлением, Институтом про-



На семинаре по краевым задачам, 1965 г.

блем механики РАН и другими организациями, поддержаны грантами РФФИ и другими грантами.

Не имея возможности сколь-нибудь подробнее остановиться на результатах последних лет, отметим здесь докторские диссертации А.Н. Чекалина (1986 г.) и В.М. Колюхова (2004 г.) по разработке численных методов в теории фильтрации, А.Г. Егорова (2000 г.) по развитию общих методов решений задач взаимодействия полей различной физической природы с фильтрационными потоками в пористой среде, М.Г. Храмченкова (2003 г.) по разработке математических моделей в гидрогеомеханике.

3. Исследования по теории течений жидкости со свободными границами (теория струй)

Теория струй является важным, глубоко разработанным и развивающимся разделом гидродинамики. Ее развитие обусловлено как внутренними требованиями самой науки, так и запросами практики. Результаты теории необходимы для создания объектов, движущихся в жидкости с большими скоростями в режимах безотрывного и кавитационного обтекания (подводные крылья, гребные винты, реактивные двигатели, гидротурбины, глиссера). Методы теории струй используются в других разделах механики сплошных сред. Круг прикладных задач теории струй непрерывно расширяется.

Стимулом для развития в НИИММ исследований по этой тематике послужило правительственное «Письмо» (1961 г.), в котором ВУЗам страны соответствующего профиля рекомендовалось развернуть и расширить исследования по гиперзвуковой аэродинамике и гидродинамике больших скоростей. Распоряжением ректора КГУ с этой целью в НИИММ был открыт отдел механики. Сотрудниками отдела стали выпускники кафедры аэрогидромеханики, а его заведующим – автор этих строк, в то время доцент той же кафедры. Позднее отдел механики был преобразован в отдел гидромеханики в связи с тематикой исследований, связанной с гидродинамикой больших скоростей.



Семинар в отделе гидромеханики, 1970 г.

Исследования развивались по следующим основным направлениям:

1. Стационарные задачи кавитационного обтекания препятствий и течения со свободными границами (подводное крыло).
2. Течения со свободными границами с учетом силы тяжести и поверхностного натяжения. Взаимодействие потоков с разными полными давлениями.
3. Неустановившиеся течения со свободными границами.

Не имея возможности для сколь-нибудь подробной характеристики полученных по этим направлениям важных результатов, отметим следующие из них. А.Г. Терентьевым даны обобщения существовавших схем кавитационного обтекания препятствий на более широкий класс задач, их развитие и уточнение (схема Тулина – Терентьева). Предложена новая схема (схема Кузнецова). А.В. Кузнецовым решена задача о подводной пластинке. О.М. Киселевым, Л.М. Котляром развит метод решения задач кавитационного обтекания криволинейного препятствия потоком невесомой жидкости, исследовано несколько достаточно общих классов струйных течений тяжелой жидкости с полигональными и криволинейными границами. Для решения задач о волновых течениях тяжелой жидкости предложена новая, более точная аппроксимация граничных условий (О.М. Киселев, сходная аппроксимация рассматривалась Г.Г. Тумашевым). А.В. Кузнецовым развит метод решения задач слабо возмущенных неустановившихся струйных течений (метод Гуревича – Хаскинда). Совместно с А.Ш. Маневич исследованы задачи погружения тонких тел с открытой и замкнутой присоединенными кавернами в несжимаемую и сжимаемую жидкости. В исследованиях по названным направлениям участвовали О.В. Троепольская, Ю.М. Курепанов, С.С. Сайкин, С.И. Краснов, Д.В. Маклаков, В.Н. Лазарев, М.В. Лотфуллин, защитившие впоследствии кандидатские диссертации. Докторские диссертации защитили в период с 1961 по 1974 годы А.В. Кузнецов (1969 г.), О.М. Киселев (1972 г.), А.Г. Терентьев (1972 г.), Л.М. Котляр (1974 г.).

Результаты исследований отдела были представлены в обзорном докладе на Международном (IUTAM) симпозиуме «Неустановившиеся течения воды с большими скоростями» (1971 г.). По свидетельству члена Оргкомитета М.П. Тулина (США): «Симпозиум собрал ведущих ученых многих стран и был весьма плодотворным».

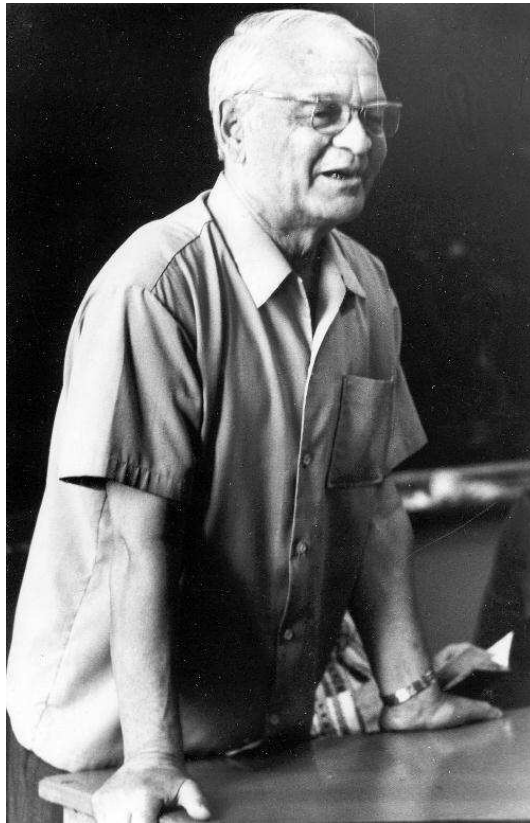


Гумер Галеевич с учениками, 1978 г.

творным. Российский вклад в работу симпозиума был очень важным. Для нас были весьма полезными участие в симпозиуме и многочисленные встречи с русскими коллегами» (Тулин М.П. Личные воспоминания о Л.И. Седове // *Успехи механики*. – 2003. – Т. 2, № 2). Полученные к этому времени результаты получили высокую оценку специалистов. Они отражены в ряде специальных обзоров, учебниках и монографиях. Многие результаты были переданы в виде научно-технических отчетов ЦНИИ им. акад. Крылова. Необходимо отметить, что на начальном этапе становления отдела большую помощь оказал Г.Г. Тумашев. Важное значение имела поддержка М.И. Гуревича, Г.Ю. Степанова, Г.В. Логвиновича, Л.А. Эпштейна.

В 1974 году во вновь созданный отдел газовой динамики были переведены несколько ведущих сотрудников отдела. Ранее переехал в Чебоксары А.Г. Терентьев. В результате отдел гидромеханики потерял половину своего состава. Тем не менее, исследования по гидродинамике больших скоростей в НИИММ продолжались.

Основные результаты последних лет связаны с исследованиями нелинейных задач течений со свободными границами. Отметим наиболее значительные из них. В точной нелинейной постановке исследованы задачи о крыле в двухслойном потоке невесомых жидкостей и кавитационном обтекании препятствия двухслойным потоком (А.В. Маклаков, М.В. Лотфуллин), методом нанесения слоя особенностей на линеаризованной границе раздела решены задачи обтекания телесных профилей крыльев многослойными потоками жидкостей (М.В. Лотфуллин, С.И. Филиппов), развита линейная теория двухслойного течения тяжелой и капиллярной жидкости при наличии непроницаемой стенки на границе раздела (А.В. Кузнецов, Н.В. Николаева, Н.В. Вагизова), разработан численно-аналитический метод расчета генерации волн в канале (Д.В. Маклаков) и кавитационного обтекания профиля произвольной формы (Д.В. Маклаков, М.В. Наборова), разработан метод проектирования гидропрофилей с заданной кавитационной диаграммой (Ф.Г. Авхадиев, Д.В. Маклаков), разработан численно-аналитический метод решения задач



Г.Г. Тумашев, 1980-е годы

плоских и осесимметричных кавитационных течений сжимаемой жидкости с дозвуковой скоростью (О.М. Киселев, Л.М. Зигангареева), решена задача об оптимальной (имеющей максимальное сопротивление) форме дефлектора, обтекаемого с отрывом струй (Д.В. Маклаков, А.Н. Углов). Защищены докторские диссертации Д.В. Маклаковым (1995) и С.И. Филипповым (2003).

4. Научные исследования в отделе газовой динамики (1974–2004)

Со второй половины 1970-х гг. в отделе газовой динамики под научным руководством проф. О.М. Киселева начались исследования неравновесных течений излучающего газа и плазмы, непосредственно связанные с математическим моделированием проточных газовых лазеров. Данная тематика появилась в институте в связи с необходимостью разработки мощных лазерных систем для промышленности и математическим обеспечением соответствующих конструкторских работ. Отдел газовой динамики вел хозяйственные работы с СПКБ «Союз» (Казань), НИЦ технологических лазеров (Шатура Московской области).

Большой цикл исследований был связан с математическим моделированием газодинамического и газоразрядного лазеров. Развита математические и физические модели процессов в активной среде лазеров. Даны постановки задач и разработаны методы расчета течения активной среды - колебательно-неравновесного газа в зоне накачки - в соплах - и в зоне лазерного генератора - оптическом резонаторе. Развита модели для распространения лазерного излучения внутри резонатора и во внешнем пучке. Получен ряд важных теоретических результатов, нашедших отражение в изданных сотрудниками отдела трех сборниках: «Исследования по



физической газовой динамике» (1983 г.), «Математическое моделирование в физической газовой динамике» (1985 г.), «Вычислительные методы в физической газовой динамике» (1989 г.) и множестве статей в журналах «Квантовая электроника», «Оптика и спектроскопия», ПМТФ, ТВТ, Laser Physics, SPIE Proceedings. Результаты исследований большей частью были внедрены в производство на соответствующих предприятиях. По итогам исследований защищены несколько кандидатских диссертаций: А.А. Вайндинер, А.А. Федосов, Ш.Х. Зарипов, Ш.Ф. Арасланов и одна докторская – Р.С. Галеев «Математическое моделирование газодинамических и газоразрядных СО₂-лазеров» (1999 г.). Таковы основные результаты исследований неравновесных течений излучающего газа и плазмы, полученные в отделе газовой динамики в НИИММ.

С начала 1990-х годов в отделе газовой динамики начаты исследования течений аэрозоля. Решены ряд задач теории пробоотбора и инерционной сепарации аэрозольных частиц применительно к современным измерительным устройствам и воздухоочистителям. Предложены новые методы расчета аэрозольных траекторий и получены новые интересные результаты в области механики аэрозолей. Результаты данных исследований опубликованы в ведущих международных и российских изданиях (J. Aerosol Science, Aerosol Sci. Tech, International Journal of Multiphase Flow, ПММ, Известия РАН. МЖГ, Физика атмосферы и океана) и обобщены в докторской диссертации Ш.Х. Зарипова «Моделирование течений аэрозоля в задачах аспирации и инерционной сепарации» (2004 г.).

Таковы некоторые результаты исследований по гидромеханике, полученные в НИИММ за последние 50–60 лет. Именно за этот период, так как систематические исследования по гидромеханике в КГУ и в НИИММ фактически начались в послевоенные годы.

Из приведенного обзора можно заключить, что за последние годы был получен целый ряд результатов фундаментального характера по проблемам, которые возникали из потребностей практической деятельности и возвращались в практику

в виде результатов решения конкретных задач, методик и программ численных расчетов.

На этой мажорной (как часто говорят) ноте можно было бы и закончить мое выступление, если бы не грустные мысли о дальнейшей судьбе нашего института и вообще науки в России.

Поступила в редакцию
02.12.04

Кузнецов Аркадий Васильевич – доктор физико-математических наук, профессор, член-корр. АН РТ, гл. н. с. НИИ математики и механики им. Н.Г. Чеботарева Казанского государственного университета.

E-mail: *Arkadii.Kuznetsov@ksu.ru*