



## **ГРИГОРИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ ЛЮБИМОВ**

**(к 70-летию со дня рождения)**

23 июня 2002 года исполняется 70 лет заслуженному деятелю науки РФ профессору Григорию Александровичу Любимову – известному ученому-механику, который с 1966 г. исполняет еще и непростые обязанности ответственного секретаря нашего главного журнала по механике жидкости и газа. Друзья и коллеги Г.А. Любимова решили не пытаться написать всеохватывающую официальную справку или, того хуже, характеристику, а, в меру своих знаний и литературных способностей, представить личный взгляд на его научную и научно-организационную деятельность.

Г.А. Любимов принадлежит к школе Л.И. Седова и одновременно является самым первым учеником Г.Г. Черного, который и был научным руководителем его кандидатской работы.

Первая (в 1956 г.) публикация Г.А. Любимова была посвящена обратной задаче газовой динамики: отысканию всех видов одномерных движений, в которых параметры являются функциями только одной пространственной переменной. Эта задача была точно решена дифференциально-геометрическими методами; развитый подход имел смысл для других обратных задач, которые в те же годы другими авторами решались значительно более громоздко. К сожалению, эта статья была (и осталась) малоизвестной и труднодоступной.

Продолжая исследования своих научных руководителей, Г.А. Любимов исследовал граничные условия за произвольно искривленной ударной волной в вязком газе.

В другой работе путем применения модификации приближенного и весьма эффективного метода Г.Г. Черного при достаточно общих условиях была решена актуальная в то время задача о нестационарном сжатии плазменного шнура при действии мощного электрического разряда. Работа произвела большое впечатление на физиков, так как продемонстрировала возможность воспроизвести все стадии сжатия гидродинамическими методами.

Эта работа положила начало крупному циклу исследований Г.А. Любимова по магнитной гидродинамике. Магнитная гидродинамика (МГД) была в то время молодой и быстро развивающейся наукой. Она включала в себя механику, электродинамику, статистическую физику и многое другое. В этой области рождались новые идеи и понятия, культура и язык, которые в дальнейшем оказали влияние на всю механику сплошных сред. Работа в этой области магнитной гидродинамики послужила Григорию Александровичу (и многим другим ученым его поколения) замечательной школой, давшей заряд на всю дальнейшую жизнь. Г.А. Любимову принадлежат исследования МГД-разрывов и их структуры, в частности, первые пионерские работы по ионизирующим ударным и детонационным волнам. Специфика этих волн заключается в том, что электрическое поле перед ними генерируется процессами внутри их структуры, а не является заданным. Эти работы получили в дальнейшем существенное развитие. Григорий Александрович показал, что внутри структуры МГД-ударных волн в плазме, когда существенны токи Холла, магнитное поле прецессирует, прежде чем принимает окончательное предельное значение. Он также исследовал изменение величин в МГД-волнах, подобных волнам Прандтля-Майера в газовой динамике. Это исследование породило также целое направление.

Вскоре после защиты кандидатской диссертации Г.А. Любимов возглавил лабораторию общей гидромеханики во вновь образованном Институте механики МГУ, в которой при поддержке Л.И. Седова и Г.Г. Черного собрал разных по научным интересам и научному темпераменту людей. Кто-то впоследствии покинул лабораторию, в нее приходили и приходят сейчас (хоть и мало) новые молодые сотрудники, но стиль работы лаборатории остается прежним, отличающимся широким диапазоном научных интересов и стремлением к доскональному знанию изучаемого предмета. Один только перечень тем, которыми в течение 43 лет занимались сотрудники лаборатории, и полученных ими результатов выглядел бы весьма впечатляюще (от теории черных дыр во Вселенной до гидродинамики мочеиспускания). Конечно, Григорий Александрович не занимался активно всем этим сразу, а, возделывая свои грядки (они описаны ниже, но далеко не все!), в качестве заведующего лабораторией и научного руководителя участвовал в обсуждениях, читал, вникал, советовал и, самое главное, помогал своим сотрудникам и ученикам.

Магнитная гидродинамика и магнитогидродинамическое преобразование энергии были в первые годы существования лаборатории главными направлениями теоретических и экспериментальных исследований, и в них принимал участие практически весь коллектив.

Модная в 1960-х годах идея о прямом преобразовании механической энергии движущегося потока низкотемпературной плазмы (например, плазмы продуктов сгорания или газоразрядной плазмы) в электрическую привлекла многих механиков во всем мире. Однако, как это всегда бывает с модными идеями в науке, огромное количество публикаций по магнитной гидродинамике не выходило за рамки формального обобщения задач обычной гидродинамики: добавлению полных или кое-как усеченных уравнений Максвелла к исходной гидродинамической задаче. Действительное продвижение в части изучения МГД-эффектов и их практического приложения требовало понимания того, что представляет собой плазма с точки зрения механики сплошной среды и как плазма движется в каналах МГД-устройств, взаимодействуя со стенками (в том числе токопроводящими электродами), в зависимости от внешних магнитных и электрических полей.

Рассмотрение частично ионизованной плазмы как многокомпонентной смеси (элек-

троны, ионы и нейтральные частицы) с учетом различных эффектов, свойственных этой смеси, привели Г.А. Любимова к почти самому общему виду уравнения количества движения для электронов, откуда следовало неявное представление для плотности электрического тока через электрическое поле и множество других членов гидродинамической природы (парциальные тензоры напряжений и т.п.) Почти невероятно, чтобы в те годы, не располагая мощными ЭВМ, кто-то мог воспользоваться этим результатом для частных расчетов. Но суть состояла в ином: нужно было указать условия, при которых справедлив тот или иной вид закона Ома, используемый физиками, и показать, какие требуются упрощения, чтобы получить на другом конце иерархии уравнений привычный закон Ома. В качестве промежуточных результатов были получены многочисленные обобщенные (кто-то сказал: "до неузнаваемости") формы закона Ома вместе с условиями их применимости. Полезность этих форм была продемонстрирована Григорием Александровичем при рассмотрении МГД-течений в каналах. Кроме того, было показано, что возможны и дальнейшие упрощения в законе Ома в конкретных условиях, например в пограничном слое. Методическое значение исследования закона Ома для многих было огромным: стало понятно, что закон Ома или закон Фика отнюдь не эмпирические определяющие соотношения (хотя родились они именно в таком качестве), а упрощенные следствия уравнения количества движения для одной из компонент смеси. Отметим, что спустя 15 лет идеи этой работы в его же лаборатории были небезуспешно применены для описания крови как сплошной многофазной среды.

В обычной гидродинамике известны различные типы пограничных слоев, для выделения и исследования которых используются известные традиционные приемы. Постановка задач о пограничном слое в магнитной гидродинамике оказалась куда более сложным делом, и Г.А. Любимов одним из первых продемонстрировал это. Во-первых, пограничный слой как узкая зона резкого изменения параметров мог быть не только динамическим и тепловым, но и магнитным. Во-вторых, ориентация магнитного и электрического полей относительно поверхности и их взаимная ориентация существенно влияют на строение пограничного слоя и его интегральные характеристики. И, в-третьих, что самое главное, распределение параметров в пограничном слое могло существенно зависеть от условий замыкания токов во внешних цепях. Разработанная им методика исследования пограничных слоев во внешних и внутренних МГД-течениях до сих пор используется на практике.

С самого начала работ по прикладной магнитной гидродинамике одной из важнейших стала проблема приэлектродных эффектов вблизи стенок каналов. Использование классической теории газового разряда оказалось недостаточным для прогнозирования приэлектродного падения потенциала, вольт-амперной характеристики и интегральных параметров в каналах МГД-устройств. Г.А. Любимов стал одним из первых создателей наиболее общей и физически обоснованной математической модели приэлектродных процессов, включающей уравнения электродинамики для заряженных компонент в приэлектродной зоне, газодинамические уравнения, уравнения теплопроводности в материале электрода и граничные условия на поверхности раздела плазма – стенка. Модель содержала эмпирические константы, для определения которых были предложены и осуществлены специальные эксперименты, опирающиеся на разработанную модель.

Существенно, что распределение тока на катоде неоднородно и на нем образуются светящиеся катодные пятна, хаотически перемещающиеся по поверхности. В катодных пятнах происходит эрозия материала катода. Построенная Григорием Александровичем полуэмпирическая теория дала возможность прогнозировать и моделировать эти ситуации.

Важная прикладная проблема, в решение которой Г.А. Любимов внес существенный вклад, – увеличение срока работы электрода до практически приемлемых времен. Выгоранию электродов удалось противопоставить специальную технологию изготовления и эксплуатации: электрод делался пористым (путем спекания порошка),

что позволяло вводить в разрядный промежуток легкоионизирующуюся присадку и одновременно управлять температурным режимом электрода.

В прикладной магнитной гидродинамике с самого начала одной из самых важных явилась проблема осреднения течений в каналах и переход к квазиодномерным "каноническим" задачам. Основой для решения этой проблемы стала известная статья Л.И. Седова и Г.Г. Черного, но применение ее идей для течений в МГД-каналах оказалось более трудным делом, нежели можно было ожидать: как и в проблеме пограничного слоя, "дополнительные степени свободы" (обусловленные направлением магнитного и электрического полей, замыканием токов, различной проводимостью стенок канала и т.д.) потребовали немалой изобретательности, прежде чем Григорию Александровичу удалось в принципе справиться с задачей. Было предложено характеризовать течение в каналах некоторым набором параметров, зависящих от координаты по оси канала. Набор параметров и связывающие их уравнения выбирались в зависимости от поставленной задачи по-разному, в том числе и путем деления области течения на части. Эффективность этого способа описания МГД-течений была продемонстрирована им в ряде работ и с успехом использовалась другими исследователями.

В 1960–70-х годах Г.А. Любимов длительное время был непосредственно связан с проводившимися в Институте высоких температур АН работами по научному и опытно-промышленному обоснованию возможности создания МГД-генераторов. Здесь его научный талант раскрылся еще с одной, для многих неожиданной, инженерной стороны. Прежде всего он понимал, что МГД-генератор является сложнейшей газодинамической машиной и что для эффективных исследований необходимо соединение специалистов различного профиля. Далее Григорий Александрович продемонстрировал исключительную способность находить "уязвимые места" в разрабатываемых конструкциях МГД-каналов и предлагать оперативные способы их устранения. Он стал создателем школы по разработке "инженерных" моделей течений в МГД-каналах. С помощью этих моделей проводилась обработка экспериментальных данных и их сопоставление с теоретическими предсказаниями. Наконец, им осуществлено научное сопровождение практических разработок элементов МГД-устройств, которое получило широкое признание.

К концу 1970-х годов мода на магнитную гидродинамику если не миновала, то сильно ослабла, однако сухой остаток от нее оказался существенным во многих областях науки и прикладных исследованиях. В глобальном же смысле резко повысился уровень понимания того, что сфера применения механики сплошных сред значительно шире и многообразнее, чем привычно было думать, и что между ее ветвями нет никаких заборов, затрагивающих фундамент теории, а только перегородки, воздвигнутые для удобства (администрирования, преподавания, книгоиздания и т.п.) Остались важные в методическом отношении прецеденты и примеры упрощенных подходов к пространственным задачам, в частности к задачам с узкими зонами сильного изменения параметров, общие соображения о процедурах осреднения уравнений и многое другое.

Подведением промежуточных итогов развития магнитной гидродинамики, главным образом в ее идеальном, недиссипативном аспекте, явилась книга "Магнитная гидродинамика"<sup>1</sup>. Это была одна из самых первых в мировой литературе монографий по магнитной гидродинамике. В ней нашли отражение важнейшие результаты, полученные к тому времени, главным образом, в СССР и, в значительной своей части, принадлежащие Григорию Александровичу и группе молодых ученых – выпускников механико-математического факультета МГУ. Спустя 8 лет вышла в свет семисотстраничная монография "Магнитогидродинамические течения в каналах"<sup>2</sup>, в 1973 г.

<sup>1</sup> Куликовский А.Г., Любимов Г.А. Магнитная гидродинамика. М.: Физматгиз, 1962. 248 с.

<sup>2</sup> Ватажин А.Б., Любимов Г.А., Резирер С.А. Магнитогидродинамические течения в каналах. М.: Наука, 1970. 672 с.

удостоенная премии им. С.А. Чаплыгина. В книге были представлены как общетеоретические, так и прикладные аспекты одного из главных направлений магнито-гидродинамических исследований. Как и в первой книге, оригинальные результаты Григория Александровича и его коллег занимали в ней важное место. Обе эти книги сыграли большую роль в последующем развитии магнитной гидродинамики.

В середине 1970-х годов поиски нового поля исследований привели Г.А. Любимова в биомеханику, новую область, которая начала активно развиваться в Институте механики и к которой он давно присматривался, участвуя в обсуждениях рассматриваемых его сотрудниками задач. В 1973 г. в Ленинграде состоялся первый ежегодный "зимний" семинар по биомеханике, и Григорий Александрович все последующие 30 лет активно участвовал в их организации и проведении. Когда в Институте механики биомеханика была утверждена в числе плановых исследований, Г.А. Любимов стал соруководителем этой тематики. Для себя он выбрал механику органов дыхания, важнейшую наряду с механикой кровообращения область, в которой не работал никто из отечественных механиков-профессионалов, но зато была опора в лице крупных физиологов, в первую очередь – Л.Л. Шика, многие годы возглавлявшего кафедру физики живых систем в МФТИ. Г.А. Любимов активно участвовал в работе семинара Л.Л. Шика (в Институте хирургии им. А.А. Вишневого) и сотрудничал с его учениками.

Ткань легкого на описательном уровне многими характеризовалась как пористая сплошная среда (ее даже уподобляли пене, основываясь на внешнем виде!), но ни одна из существующих моделей не годилась для нее из-за иерархического строения пор). С проблемой континуального описания тканей, содержащих ветвящиеся транспортные пути, сотрудники лаборатории к тому времени уже сталкивались в связи с задачами описания русла кровеносных сосудов, и был в начальном приближении развит довольно оригинальный четырехмерный подход, с порядком ветвления в качестве 4-й координаты. Григорий Александрович очень подробно вникал в ход этой работы, но по ряду причин она прервалась (справедливости ради добавим, что подход был рационален – спустя 20 лет эти исследования были независимо повторены и значительно продвинуты за рубежом). Г.А. Любимов вместе с одним из учеников Л.Л. Шика на основе пространственного осреднения и некоторых других приемов механики многофазных сред сконструировал иную модель, отличавшуюся тем, что в ней были только две объемные фазы (газовая фаза, включающая воздух в мельчайших бронхах и альвеолах, и тканевая фаза, включающая все остальное), а кроме того, распределенные поверхностные фазы, через которые воздух и кровь поступали в среду. По существу это была модель среды, каждый элемент которой сообщался с внешним миром через транспортный путь с конечным сопротивлением. В известном смысле ее можно было трактовать как результат интегрирования 4-мерных уравнений по 4-й координате. Благодаря модели удалось решить важные задачи о распространении звуковых волн в легких. Из этой модели также следовало принципиально новое описание эластических свойств легких, подкрепленное в дальнейшем экспериментами.

Наряду с такими подробными специальными моделями Григорий Александрович с самого начала своей биомеханической деятельности старался "навести порядок" в нульмерных описаниях работы легких, поскольку для интерпретации клинических измерений нужны именно такие грубые модели, оперирующие с измеряемыми параметрами. Понятно, что по своей сути эти модели – "осредненные" по пространственным переменным и вдоль дерева дыхательных путей, однако до недавнего времени процедура осреднения не только не была явно описана, но даже и не обсуждалась на приемлемом уровне. Уравнения выписывались преимущественно волевым образом, без попыток обоснования и установления сферы применения.

Идея нульмерных моделей очень проста: упругая грудная клетка, на поверхности которой действуют внешние силы, содержит внутри собственно легкие, соединенные с внешним миром дыхательным трактом. Легкие и грудная клетка разделены плевральной полостью. Ткань легкого либо однородна (однокомпонентная модель), либо

геометрически разделена на две области (компоненты), различающиеся по механическим свойствам. Дыхательный тракт в первом случае достаточно заменить одной трубкой, во втором – основной трубкой и двумя ее первыми ветвями. Однако построение уравнений, соответствующих этой картине, таит в себе немало сложностей и подводных камней. В частности, акт дыхания осуществляется благодаря работе сложной системы мышц, притом различных их групп при вдохе и выдохе, и заранее было совершенно неясно, как описать эту работу в рамках нульмерного подхода. Значительные трудности вызваны также необходимостью учета вязкоупругих свойств легочной ткани и способности дыхательных путей к схлопыванию.

По нульмерным моделям легкого Г.А. Любимов выполнил обширный цикл исследований, которые охватывали практически все клинические тесты (включая измерения в плетизмографе всего тела), различные маневры (например, форсированный выдох), некоторые виды патологий (обструкция дыхательных путей) и пространственную неоднородность свойств легких. Эти исследования в значительной части были выполнены в сотрудничестве с Институтом пульмонологии (Санкт-Петербург), где ставились многочисленные эксперименты для проверки теоретических построений.

Среди работ в области механики дыхания особое место занимает обоснование нульмерного подхода, которое выполнялось для последовательно усложняемых условий, от спокойного дыхания однородного легкого до форсированного выдоха при пространственной неоднородности с учетом механического взаимодействия компонент (последней теме посвящена статья Г.А. Любимова, признанная лучшей публикацией в МЖГ за 1999 г.). Эти работы нашли продолжение при изучении кашля и функций трахеи, когда ему удалось не только построить математическую модель акта кашля, но и обосновать гипотезу о связи анатомического строения трахеи с эффективностью кашля.

Не будет преувеличением сказать, что Григорий Александрович сейчас является наиболее авторитетным в России специалистом по механике дыхания. Свидетельством тому служит доступное физиологам и врачам изложение фундаментальных основ механики дыхания в книге "Физиология дыхания" (СПб, 1994), вышедшей в серии "Основы современной физиологии"<sup>3</sup>.

Проблемы выбора измеряемых параметров, математического моделирования процедур измерения и рациональной, опирающейся на эти модели, интерпретации результатов присущи не только пульмонологии: с ними сталкиваются в кардиологии, урологии и в других областях. Поэтому вполне естественно, что интересы Григория Александровича сейчас обращены к общим проблемам диагностических измерений (не только дыхательных) в клинике.

Научно-организационная деятельность Г.А. Любимова началась тогда, когда он стал формировать свою лабораторию, которая стала центром притяжения специалистов по магнитной гидродинамике и, позднее, по биомеханике. Перечислить все, что ему пришлось делать после этого, невозможно, но все-таки нельзя не сказать о том, что он впервые прочитал курс лекций по магнитной гидродинамике, что в течение многих лет вел научные семинары по магнитной гидродинамике в Институте механики и в Институте высоких температур и что в непростые времена работал в экспертном совете ВАК.

В течение пяти лет (1993–1997 гг.), не отрываясь от своей научной деятельности в Институте механики МГУ, Григорий Александрович работал в должности заместителя академика-секретаря Отделения проблем машиностроения, механики и процессов управления РАН. Это были наиболее сложные годы для научных учреждений РАН, само их существование подвергалось серьезной угрозе. Присущие Г.А. Любимову качества – требовательность, твердость характера, глубокое проникновение в суть проблем, инициатива в нахождении пути преодоления трудностей – в полной

---

<sup>3</sup> Кузнецова В.К., Любимов Г.А. Механика дыхания // Физиология дыхания. СПб.: Наука, 1994. С. 54–104.

мере проявились и в новой для него организационно-управленческой деятельности крупного масштаба. Эта его деятельность во многом помогала осуществлению научными организациями отделения своих функций в кризисной обстановке тех лет.

Многие годы Г.А. Любимов участвует в работе Национального комитета по теоретической и прикладной механике; сейчас он – заместитель председателя комитета. Со дня основания Научного совета РАН по проблемам биомеханики Григорий Александрович входил в его состав и активно участвовал в его деятельности; в 1984 г. он стал заместителем председателя, а в 1999 г. – председателем этого совета. Уже около 10 лет Григорий Александрович возглавляет диссертационный совет по биомеханике и Оргкомитеты Нижегородских биомеханических конференций.

Для молодых ученых, которых воспитал Григорий Александрович Любимов и для всех, кто с ним сотрудничал и сотрудничает, огромное значение имеют его доброжелательность и терпеливость, способность к жесткой, но не обижающей критике, постоянная поддержка и помощь.

С днем рождения, Григорий Александрович!