

## Эволюция содержания образования на кафедре гидроаэродинамики (1960-2000 гг.)\*

*С.Б. Колешко*

По общему замыслу и традициям физико-механического факультета, характер образования на его кафедрах подчинен идее подготовки выпускников преимущественно для исследовательской деятельности в новых областях науки и техники.

Такой результат достигается сочетанием глубокой фундаментальной подготовки и современных специальных знаний.

Этот общий тезис, демонстрирующий уже многие годы свою замечательную жизнеспособность, в разные периоды наполнялся своим собственным содержанием. Но если при этом фундаментальная составляющая образования оставалась относительно стабильной, то специальная его часть, а также те предметы, которые давали выпускникам инструментарий для их будущей профессиональной деятельности, обновлялись гораздо более интенсивно.

На кафедре гидроаэродинамики темп таких перемен не был равномерным ни по годам, ни по группам дисциплин. Наиболее значительные изменения в содержании образования на кафедре приходятся на последние десять-пятнадцать лет как ответ на бурное развитие компьютерных методов исследования практически во всех областях механики жидкости и газа.

Настоящие заметки, не претендующие на полноту описания этого по существу непрерывного процесса обновления, имеют своей целью коснуться существенных его особенностей за последние четыре десятилетия.

На этом отрезке времени выпускники кафедры последовательно именовались: инженерами-физиками по специальностям «Аэродинамика»; «Аэродинамика и термодинамика (ракетных двигателей)»; «Прикладная математика и физика», затем магистрами по направлению «Прикладная математика и информатика». (Был даже период, к счастью недолгий, когда под давлением непреодолимых внешних обстоятельств специальность называлась «Двигатели летательных аппаратов».) Хотя эта цепочка переименований формально отражала пересмотр номенклатуры вузовских специальностей и направлений подготовки, по сути она чаще всего закрепляла накопившиеся

*\*) Статья опубликована в сборнике научных трудов «Проблемы механики жидкости и газа». Под ред. Ю.В. Латина, Изд. СПбГТУ, 2000 – с.60-72*

перемены в обучении студентов на кафедре. Простое сравнение между собой кафедральных учебных планов и программ дисциплин, лабораторных работ и т. п., относящихся к разным «временным срезам», дает картину накопления новых и вымывания некоторых старых компонентов образования.

Природа этих перемен обусловлена несколькими факторами.

Первый связан с естественным развитием собственно механики жидкости и газа, то есть с появлением в ней новых важных разделов и постепенным уходом в историческую тень отдельных прежде значимых ее глав.

Другой заключается в качественном скачке роли численного моделирования в гидрогазодинамике, который произошел благодаря взлету возможностей компьютеров и соответствующих технологий.

Наконец, нельзя оставить без внимания и влияние перемен, происходящих на «рынке потребления» выпускников кафедры, контингент которых ныне представлен преимущественно петербуржцами. В последние годы неуклонно сокращались заявки со стороны авиационной и ракетно-космической отраслей. Интерес некоторых других «традиционных» организаций-потребителей к получению молодых специалистов начиная с 90-х годов нельзя назвать устойчивым. Вместе с тем обозначилась потребность в специалистах-гидродинамиках у новых небольших предприятий, где работа вчерашних студентов над нетрадиционными задачами иногда протекает в условиях вынужденной самостоятельности. Одновременно стали более доступными поступление в аспирантуру, работа в организациях Российской академии наук и стажировки в зарубежных странах. В таких условиях подтвердилась рациональность общей направленности гидродинамического образования на кафедре, а именно приоритета физической глубины постановок изучаемых явлений и обращения к самым современным методам их решения. Все это создает базу для последующей быстрой профессиональной адаптации в широком спектре конкретных задач. Следует, вероятно, упомянуть еще о том, что в условиях рыночной экономики обширные знания в области прикладной математики и компьютеров имеют для выпускников кафедры определенную самооценку.

Остановимся теперь на отдельных компонентах содержания образования на кафедре.

Математический фундамент образования на механическом крыле физмеха, куда входит кафедра гидроаэродинамики, создается на протяжении

шести (прежде пяти) семестров. Его удельный вес (даже без учета курсов математической физики, функционального анализа и дискретной математики) огромен: 43 % в общем объеме лекций и 29 % в объеме упражнений.

При общей стабильности курса высшей математики семидесятые-восьмидесятые годы были отмечены дискуссиями о содержании этого курса и, шире, о роли математических знаний в практической деятельности выпускников. Можно предположить, что в этой полемике отразилось изменение соотношения между аналитическими и численными методами в пользу последних в исследовательской работе. Тогда же резко обострилась и проблема «высоты планки» в конкурсных вступительных задачах по математике. Культ «математической сообразительности» находил все больше критиков на выпускающих кафедрах. В любом случае подтверждалась необходимость откликов на пожелания этих кафедр по содержанию курса математики.

Уже в первой половине рассматриваемого периода произошел переход от общефакультетских лекций по высшей математике к отдельному чтению курсов на физическом и механическом потоках физмеха. (Заметим кстати, что дробление лекционных потоков с целью адаптации курсов к потребностям отдельных кафедр давно вошло в практику. Так, общий курс гидроаэродинамики, читавшийся в свое время Л.Г. Лойцянским всему механическому потоку, теперь излагается отдельно и в разных объемах для каждой кафедры этого потока.)

Из курса высшей математики много лет назад был выделен отдельной строкой раздел «Линейная алгебра и аналитическая геометрия». Роль линейной алгебры и создаваемых на ее основе алгоритмов в последнее время возросла в связи с развитием численных методов.

Общая физика читается, как и в начале рассматриваемого периода, на протяжении первых четырех семестров и занимает 18 % объема лекций и 6 % упражнений вместе с лабораторными работами.

Фундаментальное образование студентов продолжается курсом теоретической физики. Объем этого курса в последние годы ощутимо увеличился. Теперь одноименная кафедра обеспечивает чтение лекций в течение трех (7-9) семестров вместо двух.

С недавнего времени благодаря привлечению к преподаванию сотрудников Института высокопроизводительных вычислений и баз данных

учебный план пополнился курсом «Дополнительные разделы теоретической физики».

Из других общенаучных дисциплин отметим здесь курс теоретической механики. Обстоятельность и глубина преподавания этого раздела науки всегда была отличительной чертой физмеха. Не следует забывать и того, что роль и престиж механических дисциплин на ФМФ непосредственно связаны с именами А.А. Фридмана, Л.Г. Лойцянского, А.И. Лурье. В частности, двое последних ученых были инициаторами использования векторно-тензорного аппарата в курсе теоретической механики, авторами широко распространенных одноименных учебников и укрепили взгляд на теоретическую механику как на основу многих последующих курсов. Подобную точку зрения разделяли не во всех учебных заведениях, и Льву Герасимовичу приходилось не раз на уровне высоких методических инстанций исполнять миссию защитника той науки, которой он посвятил начало своей деятельности в Политехническом институте. Следует, однако, заметить, что в учебном плане кафедры объем «посттеоремеховских» дисциплин по механике твердого тела сократился. Читаемые в шестидесятые-семидесятые годы курсы аналитической механики и теории упругости заменены односеместровым курсом «Дополнительные разделы механики».

Теперь кратко остановимся на дисциплинах, которые принято называть общеинженерными.

Присутствовавшие в учебных планах 60-х гг. курсы начертательной геометрии, черчения, деталей машин, а также некоторые разделы электротехники постепенно были вытеснены другими, более актуальными для выпускников кафедры в их практической деятельности. Первые три курса появились в учебных планах как дань представлениям своего времени о типичных составляющих инженерного труда, без которых не обойтись и выпускнику физмеха. Предполагалось, что подобные знания облегчат взаимодействие исследователей с конструкторами, участие в разработке новых экспериментальных установок, приборов и т. п. Однако как необходимость приобщения студентов к новым направлениям науки, так и изменение характера инженерного труда привело к указанному выше результату. Сыграло свою роль и то обстоятельство, что в гидрогазодинамике вообще (и на кафедре в частности) доля физического эксперимента в общем объеме исследований в последние годы сократилась.

Из курсов, имеющих отношение к современному аэродинамическому эксперименту в его «приборной» части, осталась дисциплина «Основы радиоэлектроники» (в учебных планах 60-70-х гг. ее дополнял небольшой курс «Основы радиоизмерений»). В нынешние учебные планы не вошел читавшийся прежде курс «Автоматизация эксперимента». При появлении устойчивой потребности в подобных знаниях со стороны организаций – «потребителей» выпускников, такой курс может быть возобновлен как дисциплина по выбору.

Предметы, определяющие образование студентов непосредственно в области механики жидкости и газа, за рассматриваемое время также претерпели значительные изменения как по своему перечню, так и по содержанию.

В 60-е годы эта группа предметов была следующей:

- Гидроаэродинамика (общий курс)
- Газовая динамика
- Крыло и лопастные механизмы
- Пограничный слой и сопротивление
- Теория полета
- Аэродинамика больших скоростей
- Магнитная гидродинамика
- Ракетные двигатели

«Авиационная» составляющая учебного плана кафедры отвечала, во-первых, преемственности образования, сложившегося в первые годы существования кафедры (см. об этом статью Л.Г. Лойцянского в настоящем сборнике), и во-вторых, распределению части выпускников в организации Минавиапрома. Курс теории полета был дополнен лекциями по принципам работы автопилота. Теоретической основой для данного раздела была дисциплина «Основы автоматического регулирования». Однако спустя некоторое время стал ощущаться разрыв между этой линией подготовки студентов и спросом на выпускников кафедры с ориентацией на сугубо авиационную тематику, поэтому от чтения этих дисциплин было решено отказаться. Аналогичным образом сложилась впоследствии и судьба более широкого по своим приложениям курса теории крыла и лопастных механизмов. Содержание этой дисциплины имело прямое отношение также к методам расчета корабельных винтов, решеток турбин, насосов и т. п. и основывалось на использовании различных вихревых схем в рамках модели

идеальной жидкости. Постепенно начала сказываться как определенная оторванность этого раздела от тематики научных исследований кафедры начиная с 70-х гг., так и переход к подготовке специалистов с более выраженной физической направленностью гидродинамических знаний.

Курс аэродинамики больших скоростей первоначально читался отдельно для каждой из двух групп специальности. Для этого были следующие причины исторического характера. В 1961 г. в дополнение к группе аэродинамиков традиционного направления прошел набор в группу с ориентацией на ракетно-космическую тематику. Эта инициатива Л.Г. Лойцянского, предполагавшая организацию под эгидой кафедры подготовки специалистов нового профиля, по причинам внешнего характера была осуществлена не в полной мере, и различия между группами вскоре стерлись. В одной группе в курсе аэродинамики больших скоростей рассматривались преимущественно задачи свободно-молекулярных течений газа, в другой – задачи пограничного слоя при больших скоростях (высокотемпературные химические реакции в потоках газов, оплавление и разрушение поверхностей и т. п.). Одной из частей этого курса впоследствии стала гиперзвуковая газовая динамика. В настоящее время отдельные из перечисленных разделов излагаются в курсах «Динамика вязкой жидкости и газа» и «Модели течений с химическими реакциями». До середины девяностых годов задачи термодинамически неравновесных течений газов излагались в курсе «Релаксационные процессы в газах».

Дисциплина «Ракетные двигатели» обеспечивалась кафедрой теплофизики и имела ознакомительно-прикладной характер. При очередной модернизации учебного плана кафедры она была заменена проектом по турбомашинам (обеспечивался энергомашиностроительным факультетом), но и он не удержался сколько-нибудь долго в перечне действующих курсов. Эти примеры говорят о том, что даже дающие полезные дополнительные сведения дисциплины, содержание которых удалено на большую дистанцию от физико-математических начал изучаемых в них процессов, в конечном счете отторгаются самим строем образования на кафедре.

Курсы газовой динамики, магнитной гидродинамики и теории пограничного слоя сохранились до настоящего времени, естественно, в переработанном виде. Объем последнего курса в той части, которая относится к ламинарным течениям несжимаемой жидкости (8-й семестр), уменьшился по сравнению с тем, каков он был сорок лет назад, когда этот раздел механики

жидкости и газа динамично развивался. Ему теперь предшествует курс «Течения при малых числах Рейнольдса» (7-й семестр), появившийся благодаря накоплению результатов многолетних научных исследований на кафедре в области газовой смазки. И этот курс, и теория пограничных слоев в несжимаемой жидкости и в газе объединены общим названием «Динамика вязкой жидкости». В рамках той же дисциплины изучается не имевший аналога в прежних учебных планах курс теории устойчивости движений жидкости (9-й семестр).

Около десяти лет назад студенты стали изучать новый курс, посвященный динамике жидкости во вращающихся каналах и возникший на базе теоретических и экспериментальных исследований, проводившихся на кафедре в 70-80 гг. Для этого класса движений существенны центробежные и кориолисовы силы, что вносит ряд специфических моментов в постановки задач и в свойства соответствующих течений. Данный курс тематически объединяется с курсом «Магнитная гидродинамика» под общим названием «Течения жидкости в полях объемных сил» (10-й семестр).

За рассматриваемый период развития кафедры резко возрос удельный вес дисциплин, в которых рассматриваются проблемы турбулентности.

В 60-е годы только курс «Пограничный слой и сопротивление» имел раздел, посвященный нескольким задачам турбулентного движения жидкости, не считая, разумеется, изложения первоначальных представлений об этом явлении в общем курсе. Самостоятельной дисциплины данного содержания не было. Этот пробел сейчас вполне восполнен. Курс «Теория турбулентных течений» занимает 5 часов в 8-м семестре и 4 часа в 9-м. Излагаются общие проблемы описания турбулентных течений, классические и современные алгебраические и дифференциальные модели турбулентности, теория турбулентных струй. Помимо этого, магистрантам предоставлена возможность ознакомиться со сравнительным анализом современных проблем турбулентности в курсе «Дополнительные разделы динамики вязкой жидкости» в 11-м семестре.

Ряд принципиально новых современных курсов удалось поставить благодаря привлечению к преподаванию крупных ученых из организаций, много лет тесно сотрудничающих с кафедрой: Физико-технического института им. А.Ф. Иоффе (ФТИ) и Российского научного центра «Прикладная химия» (РНЦ ПХ). Так появились курсы «Механика гетерогенных сред» и «Модели течений с химическими реакциями».

Самые глубокие изменения, затронувшие все стороны научно-образовательской деятельности кафедры, приходится на последние 10-12 лет и обусловлены явлением, иногда называемым компьютерной революцией.

Среди многих возможностей, предоставляемых современными компьютерами и соответствующими технологиями, наиболее значимой для гидродинамических исследований все-таки остается их первичная функция как машин для реализации вычислительных методов.

Вычисления изначально занимали весомое место в процессе решения задач гидрогазодинамики. Это факт находит свое объяснение в существенной нелинейности уравнений механики жидкости и газа и сложности стоящих за ними явлений, не оставляющих надежд на получение аналитических решений для практически интересных случаев. Промежуточным звеном между исходными теоретическими постановками и конечными результатами в течение многих лет оставались приближенные аналитические методы. Как раз для реализации таких методов на завершающем этапе требовались большие усилия в виде вычисления коэффициентов рядов, приближенного интегрирования обыкновенных дифференциальных уравнений и т. п. Не удивительно, что в состав кафедры до семидесятых годов входил довольно многочисленный расчетный отдел, занимавшийся также обработкой экспериментальных данных.

Электронно-вычислительная техника стала применяться на кафедре при выполнении научно-исследовательских, а чуть позднее и дипломных работ почти сразу после появления свободного доступа к этой технике, то есть с начала шестидесятых годов. Программированию пользователи учились самостоятельно или с помощью «более продвинутых» коллег, ибо такого учебного курса еще не было. Мало-помалу причастные к работе на ЭВМ сотрудники кафедры начали пробовать свои силы и в деле интегрирования уравнений в частных производных. Можно сказать, что это были истоки того течения, которое к концу века в большой степени преобразовало характер научных исследований и наложило сильнейший отпечаток на весь образовательный процесс на кафедре.

Что касается оснащения кафедры вычислительной техникой, то до второй половины семидесятых годов собственных ЭВМ (слово «компьютер» вошло в оборот позднее) у нее не было.

Первой вычислительной машиной кафедры гидроаэродинамики была весьма скромная по возможностям НАИРИ 3-1. Для ее установки было

переоборудовано одно из помещений первого этажа. Спустя несколько лет ее сменила ЭВМ СМ 1420, и на ее основе на кафедре был впервые оборудован студенческий дисплейный класс.

Роль связующего звена между машинами коллективного пользования и современными персональными компьютерами (РС) выполнили несколько ЭВМ MOTOROLA, переданных кафедре Институтом прикладной химии. Хотя спустя недолгое время эти машины пополнили собой студенческий дисплейный класс, суммарной мощности кафедральной вычислительной техники все еще не хватало для полноценного обеспечения ряда учебных дисциплин.

Первый персональный компьютер «КОМПАК» 386-й серии был приобретен кафедрой в 1991г. С тех пор парк РС на кафедре гидроаэродинамики интенсивно пополнялся и сейчас насчитывает более 10 единиц. Несколько РС предоставлено студентам. Большинство компьютеров имеет доступ в Интернет.

Около тридцати лет из всего «компьютерного» периода длиной в четыре десятилетия, отмеченного для кафедры постоянным развитием применения ЭВМ и численных методов, приходится на время научной и педагогической деятельности Л.Г. Лойцянского. К сожалению, последние годы «экспоненциального» взлета компьютеризации прошли уже без него.

Отношение Льва Герасимовича к современной ему и ожидаемой в обозримом будущем роли компьютерных методов исследования прошло через несколько стадий.

Чтобы понять позицию основателя кафедры в этом вопросе, надо учесть, что его собственные творческие усилия в последнее двадцатилетие жизни сконцентрировались вокруг двух проблем гидродинамики. Первая - это разработка так называемого «универсального» метода решения уравнений ламинарного пограничного слоя, увенчавшего собой развитие класса приближенных параметрических методов теории пограничного слоя. Вторая – это исследования в области турбулентных течений.

Достигнутые в решении первой проблемы результаты (техника их получения требовала интегрирования дифференциальных уравнений с параметрами) давали ключ к достаточно точным и, самое главное, обобщающим оценкам влияния факторов, определяющих конкретную постановку, на важнейшие характеристики пограничного слоя. Лев Герасимович не раз подчеркивал, что «обычное» численное интегрирование

уравнений в частных производных пограничного слоя не могло обеспечить тот уровень понимания взаимосвязи явлений, который был осуществлен в его новом универсальном методе.

Взгляды Л.Г. Лойцянского на возможности численного моделирования турбулентных течений прошли через призму его собственного огромного опыта работы в области турбулентности и были поначалу довольно скептическими. Дело, конечно в том, что в те годы решения задач о турбулентных течениях (в основном в пограничных слоях и струях) базировались или на чистой эмпирике, или на уравнениях Рейнольдса, дополненных какими-либо замыкающими соотношениями с набором эмпирических констант. Понятно, что в этих условиях именно выбор и обоснование замыкающих соотношений, а вовсе не метод решения системы уравнений составлял центр тяжести данной проблемы. Стоит еще упомянуть, что Лев Герасимович знал о проводившихся экспериментах по моделированию на ЭВМ турбулентных потоков посредством интегрирования уравнений Эйлера; при этом определяющая роль отводилась неконтролируемым внутрисхемным факторам (сеточной вязкости и т. п.). Такой подход не мог найти у него понимания.

Во второй половине восьмидесятых годов применение численных методов в различных областях гидрогазодинамики дало многочисленные доказательства своих огромных возможностей. Постепенно набирало силу прямое численное моделирование турбулентных потоков на основе решения трехмерных нестационарных уравнений Навье-Стокса. Эти впечатляющие тенденции существенно повлияли на мнения и прогнозы Льва Герасимовича относительно места и значения вычислительной гидрогазодинамики среди других методов этой науки.

Надо определенно заявить, что в деле введения в преподавание новых научных дисциплин, относящихся как к изучению механических (физических, химических) аспектов современных задач гидрогазодинамики, так и к изложению относящихся к ней вычислительных методов, Льву Герасимовичу принадлежала весьма активная и позитивная роль. Так, еще в пору своего заведования кафедрой, в 1975 г, он привлек для чтения первого в истории кафедры курса численных методов в гидрогазодинамике сотрудников ФТИ им. А.Ф. Иоффе, где это направление уже тогда получило значительное развитие.

К настоящему времени курс «Численные методы в гидрогазодинамике» является одним из самых протяженных: он идет четыре (7-10) семестра и сопровождается несколькими достаточно сложными курсовыми работами. В 11-м семестре он продолжается лекциями по дополнительным разделам численных методов. Как и прежде, значительная роль в поддержании и модернизации этого курса принадлежит ученым сотрудничающих с кафедрой организаций (ФТИ им. А.Ф. Иоффе, РНЦ ПХ).

Компьютеризация научных исследований и переход на кафедре в конце 80-х гг. на обучение по специальности «Прикладная математика и физика» заставил существенно усилить обучение информатике и прикладной математике на младших курсах. Среди дисциплин этого направления отметим курсы «Информатика», «Наука программирования», «Программное обеспечение вычислительных систем», «Вычислительная математика», «Дискретная математика», «Функциональный анализ», читаемые преподавателями кафедры прикладной математики. Студенты пятого и шестого курсов слушают циклы лекций «Вычисления на многопроцессорных компьютерах» и «Высокопроизводительные информационные и вычислительные технологии». Изучение этих современных методов стало возможным благодаря привлечению к преподаванию сотрудников Института высокопроизводительных вычислений и баз данных (ИВВБД).

На протяжении всего рассматриваемого периода учебные планы кафедры выделяли отдельной строкой дисциплину «Научно-исследовательская работа студентов» (НИР), проходившую на 4-м и 5-м курсах. (Теперь в связи с выпуском магистров НИР распространен и на 11-й семестр). В рамках курса НИР студенты привлекались к исследованиям, как правило, экспериментальным, в составе небольших групп под руководством преподавателей или научных сотрудников кафедры. «Материальную часть» курса составляли лабораторные установки, в том числе сложные и дорогостоящие, создаваемые при выполнении научных исследований на кафедре по заказам различных организаций. Впрочем, иногда проектировались и строились специальные установки для НИР. К сожалению, объем экспериментальных исследований в последние годы существенно уменьшился в связи с резким удорожанием оборудования.

В этих условиях особенно ценными и своевременными стали новые возможности для НИР, открывшиеся в результате достижений ряда отдельных научных групп кафедры в области численного моделирования сложных

течений жидкости и газа. Речь идет, в первую очередь, о разработке пакета прикладных программ, включающего в себя «решатель» уравнений, генератор сеток, визуализатор результатов и интерфейсную оболочку. Таким образом, появляется возможность детального изучения многих интересных гидродинамических явлений посредством уже не физического, а численного эксперимента. Такое направление развития НИР вполне согласуется с современными тенденциями в гидрогазодинамике. Первые успешные шаги на этом пути уже сделаны, и нет сомнений в перспективности этой линии.

В качестве краткого заключения отметим, что за последние четыре десятилетия истории кафедры содержание образования на ней подверглось значительному развитию. Наполнение «корзины знаний» в областях физической механики жидкости и газа и методов решения ее задач стало заметно иным, чем это было в начале рассматриваемого периода. Динамика этих перемен позволят надеяться на то, что и в новом веке выпускники кафедры будут хорошо вооружены для своей профессиональной деятельности.