

А.А. Саткевич

**Теоретические основы гидро-
аэродинамики**

Часть 2. Динамика жидких тел

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 53
ББК 22.3
А11

A11 **А.А. Саткевич**
Теоретические основы гидро-аэродинамики: Часть 2. Динамика жидкых тел /
А.А. Саткевич – М.: Книга по Требованию, 2015. – 468 с.
ISBN 978-5-458-58150-9

ISBN 978-5-458-58150-9

© Издание на русском языке, оформление

«YOYO Media», 2015

© Издание на русском языке, оцифровка,

«Книга по Требованию», 2015

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, кляксы, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первозданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.

	Стр.
39. Уравнения движения вязкой жидкости в цилиндрических координатах	307
40. Видоизменение уравнений Навье — Стокса Полувихревая их форма (обобщение уравнений Лэмба). Поток, управляемый руслом, в поток свободно-вихревой	314
41. Вихревая форма уравнений Навье — Стокса. Зарождение, развитие и затухание вихрей	323
42. Система дифференциальных уравнений движения вязкой жидкости. Пограничные и начальные условия. Интегрирование уравнений	336
43. Метод подобия в динамике вязкой жидкости. Безразмерные параметры. Роль критерия Рейнольдса	346
 б) Приемы решения основных задач практики методом динамики вязкой жидкости	
а) Движение жидкостей в трубах и каналах на прямых участках постоянного поперечного сечения (внутренняя задача).	
44. Ламинарное — управляемое стенками — течение жидкости по трубе. Закон Хагена — Пуазеля	359
45. Турбулентное — обладающее внутренней свободой формирования — движение жидкостей в трубах и каналах. Гидравлический подход к задаче.	376
46. Попытки теоретического учета турбулентности. Метод Прандтля — Кармана.	390
б) Обтекание твердого тела сплошным потоком несжимаемой вязкой жидкости (внешняя задача).	
47. Медленное обтекание шара весьма вязкой жидкостью — задача Стокса. Корректива Оссеина	406
48. Быстрое обтекание цилиндрических тел маловязкой средой. Приближенные уравнения пограничного слоя Прандтля. Интегральное уравнение Кармана. Срыв слоя. Сопротивление обтеканию.	422
49. Учет влияния вязкости жидкости на явления периодического характера. Волны в несжимаемой вязкой жидкости. Влияние вязкости жидкости и сопротивления ложи. Намечающаяся роль критерия Струхала	444
 Общее заключение	
50. Литературные указания	460

ОТ АВТОРА.

Задачи курса и общий метод его построения и изложения были формулированы в предисловии к первой части. В порядке выполнения намеченных там основных установок предлагаемая теперь вторая часть курса вводит в кругозор исследований силовые представления как оперативное средство полного динамического анализа движений жидкого тела.

Введение понятия о силе совершается конечно на основе тех подготовительных сведений, которые гидро-аэродинамикой заимствуются из общих основ теоретической механики. К сожалению методические и методологические обоснования представления о сиже в современных курсах механики недостаточно развиты и невполне согласованы. Это требовало бы по существу при составлении руководства по динамике жидких тел предварительного установления в нем определенных отправных точек зрения на применимые в дальнейшем основные понятия и законы общей динамики. Однако, экономя место для прямых задач курса, я предпочел такую предварительную работу выполнить особо, вынеся ее в форме нескольких докладов на суд общественной научной мысли, тем более что планомерная критика привела меня к некоторым своеобразным предложениям, которыми нецелесообразно начинать курсовое изложение, требующее в основе значительной объективности. Тем не менее нельзя было на мой взгляд начать изложение курса динамики жидкости, не предпослав ему краткой формулировки некоторых общих мыслей и положений механического характера.

Систематическое развитие в курсе методов динамики жидких тел, опираясь на представления и приемы общей механики, отражает в себе через них еще более общие приемы научного исследования и научного мышления вообще, о которых обычно вовсе не упоминается в курсах отдельных научных дисциплин. Между тем правильное восприятие последовательных этапов курсового изложения, устанавливающее теоретическую и практическую ценность каждого из них по отношению к остальным, обуславливается внимательной оценкой идейной постановки всякой изучаемой проблемы в отношении степени согласования в ней противоречий между многосторонней сложностью реальных явлений и оперативными упрощениями научного к ним подхода. Современные курсы уделяют, как мне кажется, недостаточно внимания оценке или хотя бы формулировке тех научных абстракций, на которых они строят методы своих исследований, в результате чего нередко расположение материала в общем плане курса мало согласуется с какой-либо системой введения этих абстракций. Все эти мысли побудили меня дать в начале динамической части курса, где исследование явлений может уже быть развернуто с достаточной законченностью, общую характеристику тех главнейших научных абстракций, с которыми приходится считаться на современной ступени развития гидро-аэродинамики.

На почве указываемых методических и методологических соображений устанавливается основной прием гидро-аэромеханического анализа явлений, и намечается оперативная схема его действий, после чего сообщаются более конкретные сведения о свойствах тех реальных субстанций — жидкостей и газов, или жидкостей вообще в более широком понимании этого термина, — изучение движений которых составляет цель курса. Здесь дается представление об этих жидких телах вне стеснений рамками научно-оперативных абстракций; вводится понятие о так называемой вязкости действительных жидкостей и даже упоминается о современном обосновании этого факта вязкости на представлениях о кинетическом строении вещества.

После изложения общих приемов изучения движений самих жидких тел сообщаются специальные приемы и вспомогательные средства учета взаимодействия движений этих тел и омываемых ими твердых стенок — в той мере, в какой эти вопросы допускают их конкретное оформление без помощи упрощающих абстракций о физической природе жидкости.

Дальнейшее развитие построения курса побуждает провести разделение между изучением более сложных и потому менее законченно разработанных теорий движения жидкостей реально-вязких и — с другой стороны — по существу приближенных, осознанных и абстракции от свойства вязкости, но зато значительно полнее оформленных и все же дающих полезные практические указания во многих жизненных случаях, теорий движения так называемой жидкости совершенной или идеальной. Какой из этих отделов следует поставить впереди в программе изложения курса? Приходится иногда слышать пожелания о том, чтобы в основе всех курсовых представлений возможно нераадельно лежала оценка жидкости как обладающей реальным свойством вязкости и чтобы упрощенная концепция идеальной жидкости сводилась на роль побочного следствия основных теорий движения жидкости вязкой. Но большинство современных курсов следует все же обратному порядку; а существуют даже и такие руководства, которые сосредоточивают все свое внимание именно на приемах изучения динамики жидкости, лишенной вязкости. Какого же пути следует держаться?

Конечно основное представление о вязкости реальных жидкостей при динамическом их изучении должно быть заложено в самом начале соответствующей части курса, что и выполнено в охарактеризованном выше начальном отделе предлагаемого курса. Но строить основу курсового изложения на непосредственной разработке теории вязкой жидкости при существовании весьма большого числа специальных приемов изучения жидкости идеальной, не вытекающих в порядке следствия из таких же приемов для жидкости вязкой, при незаконченности существующих теорий движения последней, сталкивающихся пока с несовершенством наших теоретических знаний, и при значительном облегчении восприятия общих теорий гидро-аэродинамики в сильно упрощающих анализ условиях временного пренебрежения силами вязкости, — начинать изложение курса сразу со сложных формулировок теории вязкой жидкости было бы по моему мнению и нецелесообразным в смысле педагогическом — в интересах усвоемости курса — и несоответствующим намеченному методическому плану его планомерного развития. Такой обратный порядок уместен на мой взгляд в полуприкладных курсах узко конкретного содержания, когда с одной стороны введение в изучение сил вязкости доpusкается в облегченных формулировках и с другой — задачи, решаемые при посредстве упрощенного представления об идеальной жидкости, ограничиваются тем же узким кругом вопросов, к которому

в достаточной мере применимы и теории движения жидкости вязкой, в таком случае может получиться пожалуй даже некоторая экономия времени.

В соответствие принятому порядку второй отдел динамической части курса посвящен динамике идеальной или совершенной жидкости. Этот отдел делится в свою очередь на разработку основных средств в форме составления и интегрирования дифференциальных уравнений движения совершенной жидкости и на специальное, динамическое изучение потенциальных, вихревых и волновых ее движений. Последняя из перечисляемых глав — динамика волн в совершенной жидкости — развита несколько шире, чем то первоначально предполагалось; но к этому привело желание удовлетворить существующим в этом отношении запросам и одновременно полнее охарактеризовать метод динамики идеальной жидкости, предпосылки каковой особенно удачно увязываются с задачами изучения волновых движений.

Третий — заключительный и в то же время главный по своей связи с задачами практической жизни — отдел курса, посвященный динамике реально-вязких жидкостей, делится на два раздела или главы: в одной сообщаются оперативные средства динамики таких жидкостей, в другой указываются приемы решения практических задач этими средствами. Глава об оперативных средствах динамики вязкой жидкости закончена специальным параграфом о методе динамического подобия явлений и о роли специальных критерии — главным образом критерия Рейнольдса — в деле систематического изучения явлений реальной жизни. Она представляет переход к ознакомлению с методами изучения таких явлений в частных случаях, т. е. к главе второй того же отдела.

Эта последняя глава исследует в сущности говоря два крупных класса задач: задачи, именуемые внутренними, — протекания реальных жидкостей внутри замкнутых труб или в твердом ложе полуоткрытых каналов — и задачи внешние — обтекание потоком жидкости твердых тел с внешней их стороны. Введение критерия Рейнольдса позволяет классифицировать частные выражения задач каждого из этих классов. Рассмотрение приемов решения задач доводится до современных попыток охвата теоретической мыслью сложных движений турбулентного характера, причем современная теория турбулентности Прандтля и Кармана приурочена главным образом к задаче о движении вязкой жидкости по цилиндрической трубе, для которой она получила пока более оформленное выражение.

Последний параграф последней главы посвящен учету влияния вязкости жидкости в условиях движений периодического характера. В соответствии с последней главой — о волновом движении — в отделе о совершенной жидкости он трактует главным образом о влиянии вязкости на явления волновые и о вводимом в формулы этим влиянием факторе затухания волн. Попутно рассматривается вопрос о распространении волны в прямолинейном канале, частично выходящий за пределы представлений о периодическом повторении форм явления в пространстве.

Курс заканчивается краткой характеристикой современной основной литературы по гидро-аэродинамике — в предвидении запросов лиц, у которых явится желание расширить или углубить приобретенные ими в курсе знания.

Таким образом, бросая общий взгляд на содержание обеих частей курса, можно признать его достаточно разносторонне охватывающим проблемы современной гидро-аэродинамики. Однако остается целый ряд очень крупных

и практических важных задач и даже отделов знаний, которые по разным соображениям не введены в программу курса. Перечислим главнейшие из них.

Наиболее заметным является отсутствие в курсе сколько-нибудь подробного развития действительной „аэро“-динамики, учитывающей влияние сжимаемости упругой жидкости (газа). Хотя курс и дает систему дифференциальных уравнений движения упругой, вязкой жидкости с дополнительным уравнением Кирхгофа, хотя он намечает методы изучения распространения волн уплотнения и разрежения в непрерывной упругой среде, хотя на всем протяжении изложения неоднократно затрагиваются видоизменения получаемых формул для случая сжимаемости жидкости, однако систематически заключенного исследования вопроса о движении жидкостей сжимаемых в курсе не содержится. В частности курс не упоминает о капитальном диссертационном труде некой проф. А. А. Фридмана „Опыт гидродинамики сжимаемой жидкости“, не развивает современных теорий так называемой газовой динамики, намечая только основные ее задачи, и не касается приложений гидро-аэродинамики к проблемам метеорологии, аэро-логии и климатологии. Исключение из кругозора курса всего ряда этих вопросов сделано под давлением необходимости не увеличивать чрезмерно и без того уже достаточно объемистого размера курса в связи с тем соображением, что круг соответствующих задач составляет несколько обособленную область знаний, обладающую своей специальной литературой на всех языках, имеющую на русском языке такое исключительно солидное руководство по основным теоретическим вопросам, как упомянутый „Опыт“ проф. Фридмана, и разрабатываемую группами специальных работников таких квалифицированных учреждений, как Центральный аэро-гидродинамический институт в Москве и Главная геофизическая обсерватория в Ленинграде, да и некоторыми другими научно-исследовательскими учреждениями и органами, в том числе — Научно-исследовательским институтом математики и механики при Ленинградском государственном университете.

Другим крупным отделом научно-технических знаний, который обойден содержанием курса, является теория движения грунтовых вод — вопрос несомненно большого практического значения и уже непосредственно относящийся к кругозору общей гидро-аэродинамики. Этот пробел сознательно допущен — из тех же соображений сокращения объема руководства — ввиду того, что на русском языке теория движения грунтовых вод получила особо полное и планомерное литературное сформление в трудах акад. Н. Н. Павловского, а также других работников бывш. Научно-мелиорационного института, ныне Научно-исследовательского института гидротехники, Государственного гидрологического института и других научно-исследовательских учреждений.

Курс не развивает и многих теоретических вопросов гидрологии, как теории приливно-отливных явлений, теории речного потока, теории водосливов и перепадов, теории гидравлического удара в трубах и прыжка в открытых потоках и т. д. и т. д. Не затрагивается курсом и теоретическое сопоставление динамических явлений в жидкостях с явлениями термическими, в значительной мере оформленные за последнее время. Эти вопросы частью выходят за пределы гидро-аэродинамических методов, так как изучаются при с временном состоянии науки несколько облегченными — гидравлическими — приемами, частью же относятся уже к специальным отделам теоретической гидрологии и технической физики, имеющим также свою литературу и свой круг исследователей. В частности над этим кругом

вопросов работают Государственный гидрологический институт, Научно-исследовательские институты гидротехники, водного транспорта, специальный отдел Центрального аэро-гидродинамического института (ЦАГИ), Всесоюзный институт тепло-гидро-энерго-оборудования (ВИТГЭО) и т. д.

Из крупных сфер приложения гидро-аэродинамического анализа, имеющих связь с развивающимися в курсе теориями и методами, следует упомянуть теорию крыла самолета и проблему обтекания решеток как основу теории гидравлических турбин. Теория аэродинамического крыла несомненно тесно примыкает к излагаемым в курсе теориям Жуковского и Прандтля, отчасти являясь дальнейшим их развитием, отчасти устанавливая видоизмененные приемы изучения динамических свойств несущих и поддерживающих поверхностей аэроблана, а также лопаток пропеллера и других турбоаппаратов. Но к счастью на русском языке имеется обстоятельное специальное руководство проф. В. В. Голубева, в первой части которого рассматривается плоская задача обтекания крыла плоско-параллельным потоком, во второй же части изучается трехразмерная теория крыла конечного размаха. Многие главы руководства проф. Голубева совпадают по содержанию с соответствующими главами этого курса, что может служить к облегчению ориентировки для лиц, которые захотят дополнить свои знания по теории крыльев. В частности в первом из руководств проф. Голубева содержится более подробное и строже обоснованное научное изложение метода конформных изображений, затронутого в первой части лишь в основных чертах — в соответствии с излагаемыми там же простейшими приложениями этого метода к обоснованию теорий Жуковского и Кирхгофа.

Теория обтекания решеток и другие вопросы, связанные с теорией турбин, уже слишком уклоняются от прямых задач курса, и включение их не могло бы оправдать требуемого для того увеличения его объема. К тому же эти вопросы имеют свою специальную литературу; в частности на русском языке укажу например на статьи П. А. Вальтера в трудах Центрального аэро-гидродинамического института (ЦАГИ).

Я считал полезным привести это довольно длинное перечисление вопросов, примыкающих к содержанию курса, но не включаемых в него во все или лишь частично затрагиваемых, чтобы приступающий к изучению динамики жидкых тел по предлагаемому курсу отчетливее представлял себе, с чем именно ему предстоит познакомиться в курсе и на что он не найдет там достаточно полных ответов.

Можно было бы конечно вложить в тот же объем курса и большее количество разнообразных сведений и отделов, если бы прибегнуть к более конспективному изложению каждого отдельного вопроса. Но я уже отмечал в предисловии к первой части курса, что целью его выставляется не столько сообщение отдельных сведений, сколько образование у читателя привычки к последовательной, логической аргументации рассуждений, содействие к усвоению им самого существа излагаемых гидродинамических методов.

Некоторые авторы курсов предпочитают ограничивать теоретические построения выводов лишь главными этапами рассуждений, оставляя промежуточные переходы, а иногда и основное развитие предпосылок на усмотрение читателя, и оправдывают это желанием развить в изучающем курс способность к самостоятельному мышлению. Но фактически далеко не многие читатели смогут надлежащим образом продумать весь ход так изложенных

рассуждений, большинство же либо будет беспомощно пытаться проникнуть в мысли автора книги, бесплодно подолгу сидя над каждой страницей, либо привыкнет усваивать выводы так сказать налету, без внимательной проверки, а основные предпосылки обходить без достаточного в них углубления.

Я старался дать возможно полное, последовательное обоснование и развитие каждого теоретического построения, нарочно наталкивая мысль читателя на всякое возможное сомнение, подводя его к различным попутным соображениям. При этом я излагал отдельные главы и параграфы курса таким образом, чтобы их можно было без особого труда понимать даже и не читая непременно всех глав и параграфов подряд, не говоря уже о вставках петитом, пропуск которых не нарушает вовсе хода изложения, набранного основным шрифтом.

Успел я во всех этих своих стремлениях или нет — предоставлю судить тем, кто будет пользоваться моим курсом. Да и самые принципы его построения с методологической и методической стороны, которые я пытался нарочно возможно отчетливее выявить в этом предисловии и специальных вводных параграфах курса, также выношу на суд компетентного общественного мнения.

ВВЕДЕНИЕ.

1. Несколько мыслей из общей механики.

Гидро-аэромеханика является частным выражением механики системы материальных — вещественных — точек в применении к специфическим особенностям жидких и газообразных тел. Но жидкые тела характеризуются тем, что, обладая незначительным взаимным сцеплением и чрезвычайной подвижностью своих частей, они нуждаются в поддержании их твердыми стенками ложа или сосуда; газы же, проявляя тенденцию к распространению во всех направлениях, требуют ограничения их твердыми стенками даже со всех сторон. Форма и расположение таких ограничивающих объем жидкостей или газа стенок оказывают существенное влияние на условия движения этих тел. Поэтому, исследуя движения жидкостей и газов, нет возможности сосредоточивать исключительное внимание на механических явлениях, происходящих только внутри объемов этих тел — под непосредственным влиянием их природных свойств, — а приходится непременно охватывать кругозором и механические их взаимодействия на границах с твердыми телами. Гидро-аэромеханика, изучая движения жидкостей и газов самих по себе, распространяет свои суждения и на вопросы взаимодействия этих тел с примыкающими к ним телами твердыми — в форме охватывающих их снаружи стенок ложа или сосуда или в форме располагающихся внутри изучаемого их объема обтекаемых ими тел.

И как-раз эти так сказать комбинированные задачи играют пожалуй наибольшую практическую роль. Таковы задачи: влияния воздушной среды на летящее в ней крыло самолета, воздействия лопатки вращающегося насоса на подаваемый ею водный поток, сдерживающее течение реки, влияние на нее стенок русла и обратное действие — движения речного потока на русло и т. д. и т. д. Необходимо стало быть установить приемы для перехода от чисто гидро-аэромеханических исследований к анализу механического состояния тел твердых — устойчивости полета в воздухе самолетного крыла, прочности крепления лопатки к насосному диску, сопротивляемости русла размывающему действию речного потока и т. п.

В первом — кинематическом — отделе курса мы изучали по существу только возможные формы различных потоков жидкостей или газов, отвечающие физическим особенностям структуры этих тел, безотносительно к условиям внешней обстановки, определяющим самую возможность осуществления именно таких форм движения. А потому там мы не сталкивались с необходимостью установления оперативной связи между механикой жидкости или газа с одной стороны и тела твердого — с другой. Теперь же нам предстоит на первых же порах задуматься над этими по существу механическими вопросами.

Основным оперативным средством общей механики, служащим непосредственно указываемой цели, является используемое ею представление о силе.

Механика, имея основной задачей изучение влияния движений отдельных вещественных тел, а равно и их частей, друг на друга, ставит себе ближайшей целью связать изменения движения каждого тела и всякой его части с силовыми образами. Собственно говоря понятие о силе, подсказывавшееся опытом мускульных действий, возникло если и не совсем оторванно от идеи о движении, то все же вне оформленной с ним связи: статические приемы мышления значительно опередили в науке устойчивые динамические представления. Динамика стала на строго научную почву только со времени знаменитого трактата Ньютона „Математические начала натуральной философии“ (1687 г.). И большая практическая ценность этого трактата заключалась именно в том, что ему удалось законы движений тел свести к знакомым уже силовым образам, придав последним оживляющую их динамическую сущность.

Сила, воплотившая в себе изменяемость во времени количества движения каждого вещественного тела в совокупности или каждой его части в отдельности, явилась как бы посредником между взаимодействующими изменениями движения вещественных объектов — результатом нарушения регулярности движения влияющего тела и в то же время формальной причиной уклонения воспринимающего влияние тела от прямолинейно-равномерных условий его перемещения или от частной формы этого состояния — видимого покоя тела.

Введение такого промежуточного силового представления потребовало придания ему двустороннего характера, установленного Ньютоном в форме закона равенства действия и противодействия: две силы, равные по величине и противоположные по направлению, взаимно парализуют одна другую, и включаемые между любыми двумя элементами всякого вещественного тела они ничего не меняют в его механическом состоянии; но каждая из них в отдельности, приурочиваемая лишь к одному из двух взаимодействующих элементов, устанавливает удобную характеристику происходящих изменений его движения. И теоретически — любой из взаимодействующих механических элементов (или обобщенно говоря — тел) может считаться источником силы, с тем что для другого элемента (или тела) она окажется силовой причиной изменения движения.

Но парное оформление сил динамикой наталкивалось на некоторые видимые противоречия: ежедневный опыт давно уже устанавливал факты изменяемости величины и направления скорости вещественных тел под влиянием причин, не обнаруживавших видимого вещественного носителя первичных движений — источника этих действий, как то — ускоренное падение тяжелых тел, уклонение их от прямого направления горизонтального или наклонного полета и т. п. Требовалось включение в кругозор механики парных дополнений и к этим явно наблюдавшимся и по существу силовым проявлениям. Такое парное их оформление дано было Ньютоном в его основном учении о всемирном тяготении, создавшем идею сил дальнего действия, действия на расстоянии.

Некоторая метафизичность такого представления чувствовалась самим Ньютоном и побудила его в конце своего трактата сделать оговорку, что он изъяснял небесные и земные явления на основании силы тяготения, но причины самого тяготения при этом не указывал, так как таковой ему не удалось вывести из явлений природы, гипотез же он не измышлял

(„Hypotesis non fingo“). Учением о тяготении Ньютона с формальной стороны исчерпывающе объединил все факты мировой жизни и природы на основе положения о равенстве действия и противодействия.

Существовало однако затруднение и другого порядка к парному дополнению всех сил: связывая появление силы с изменением движения вещественного тела, динамика ставит ее существование в зависимость от возможности такого изменения. Всякое же тело, а тем более его часть, стеснены существованием окружающих тел или прилегающих частей, и перенос нарушения движения от тела к телу или от одной его части к другой рано или поздно сталкивается с невозможностью проявления дальнейшего его действия, полностью или частично.

Здесь вступают в дело естественные свойства тел — их непроницаемость, большая или меньшая несжимаемость и пр. Сила, рожденная изменением движения жидкого или газообразного тела около такой более или менее сопротивляющейся преграды, не имеет возможности проявить всего своего действия, воспринимается в соответствующей части внутренним существом самого сопротивляющегося тела. И если силовое влияние потока жидкости или газа имеет длительную форму, например под непрерывным действием силы тяготения, т. е. собственного веса жидкости или газа, или в условиях установившейся картины нарушения регулярности их движения около преграды, то такие противодействующие силы внутренней сопротивляемости последней также длительно в ней сохраняются. Так рождается представление о внутренних напряжениях в телах, которые вообще отвечают естественным способностям тел сопротивляться внешним влияниям, а потому могут, главным образом в форме сил сдавливающих, усматриваться и в самих жидкостях и газах.

Не входя в анализ природы таких внутренних напряжений и в изъяснения способов их проявления в телах (скажем условно — механизма их движения), отметим лишь, что в таком дополнении сил динамического силами статического характера находит полное свое завершение система механической оценки всех совершающихся в природе явлений на основе начала равенства действия и противодействия, одинаково приложимого к каждому месту заполненного вещественными телами мирового пространства. И вот в этой-то законченной в себе концепции и находит основу прием разделения общего, по существу нераздельного явления — взаимодействия потока жидкости или газа и твердой стенки или преграды — на отдельные проблемы — движения жидкой или газообразной среды и перемещения или устойчивого сопротивления твердого тела: каждый из объектов изучения получает одну — свою — из двух сил действия и противодействия.

Таким образом основную задачу динамического отдела нашего курса приходится усматривать в установлении и учете зависимости между наблюдаемыми изменениями движений жидких или газообразных тел и отвечающими этим изменениям силами. Условно эти силы будут иногда трактоваться как результаты скоростных воздействий потоков жидкостей или газов и, наоборот, в силах же будут усматриваться ближайшие причины вызываемых ими изменений формы и структуры потоков. С другой стороны выявление сил, действующих со стороны потоков на поверхности обтекаемых ими твердых тел, создает базу для установления механического влияния потоков на эти тела.

Итак новым фактором нашего изучения по сравнению с первой — кинематической — частью курса является главным образом сила, о формах проявления и способах учета которой нам и надлежит на первых же порах уговориться.