

В решениях партии и правительства о перестройке высшей школы, улучшении использования ее научного потенциала и повышении качества подготовки специалистов отмечается необходимость всемерной фундаментализации обучения при усилении практической подготовки будущих специалистов, развития самостоятельной работы студентов, перехода к подготовке специалистов широкого профиля при одновременном гибком учете реальных запросов производства путем оперативной специализации на последних этапах обучения.

Такое обучение должно вестись на самой современной технической базе, в том числе с широким использованием лабораторного оборудования, вычислительной техники и технических средств обучения, причем в условиях самокупаемости и самофинансирования производства, а со временем и самой высшей школы, требующих рачительного подхода ко всем видам затрат, в том числе и на подготовку кадров. При составлении настоящего учебника авторы, прежде всего, исходили из этих требований и тенденций.

Возрастающая роль фундаментальных наук в процессе формирования инженера любого профиля требует улучшения преподавания гидравлики, относящейся к фундаментальной технической дисциплине, основополагающие

принципы и методы которой используются при решении многообразных практических задач в любой, по существу, сфере производства.

Укрупнение специальностей и переход на унифицированные планы фундаментальной подготовки специалистов по широкому кругу специальностей само по себе требует всемерной унификации программы по одной и той же дисциплине для разных специальностей.

Известно, что теоретические основы подавляющего большинства учебных дисциплин, как правило, незыблемы на протяжении значительного периода времени. Изменяются обычно специфические прикладные вопросы. Поэтому целесообразен выпуск комплекса учебных изданий — учебника по общему для многих специальностей курсу, задачника, лабораторного практикума и изданий по спецкурсам, ориентированным на одну специальность или их группу, которые будут оперативно дополняться сведениями о достижениях науки и практики и переиздаваться по мере надобности.

Курс гидравлики для всех инженерно-технических специальностей (особенно для строительных) практически содержит одинаковые разделы, которые могут отличаться по числу часов, отводимых на лекции или практические и лабораторные занятия, но идентичные по своей научной основе и программ-

му содержанию. Из этого следует целесообразность издания единого учебника по общему курсу гидравлики для всех этих специальностей.

Предполагается, что общий курс должен дополняться несколько небольших по объему специальных курсов для каждой из групп специальностей: «Гидравлика открытых русел и сооружений», «Гидравлика водоснабжения и канализации» и др.

Выделение общих основ гидравлики в единый для различных специальностей курс не только позволяет решить проблему стабильных и экономически рентабельных учебника и ориентированных на него задачника и лабораторного практикума, но и облегчает разработку и серийное производство типового лабораторного оборудования, создание и тиражирование плакатов, макетов, моделей, слайдов и диафильмов, учебных кинофильмов, видеозаписей, печатных раздаточных материалов, опросных карт и других дидактических пособий.

В соответствии с вышеизложенным и был подготовлен настоящий учебник. В нем при рассмотрении основных вопросов гидравлики подчеркивается ее связь с марксистско-ленинской философией, с базовыми дисциплинами, такими как физика, высшая математика, теоретическая механика

В связи с повышением в современной высшей школе роли самостоятельной работы студентов авторы приводят к каждому разделу вопросы для самопроверки, стараясь шире освещать возможные практические работы по рассматриваемым теоретическим положениям и выводам и создавая тем самым предпосылки к глубокой проработке курса.

Главы 1, 4, 5, 8, 9 и 10 написаны доктором технических наук, профессором В. А. Большаковым, а главы 2, 3, 6 и 7 — кандидатом технических наук, профессором В. Н. Поповым — преподавателями Киевского автомобильно-дорожного института имени 60-летия Великой Октябрьской социалистической революции.

§ 1.1. Предмет гидравлики и ее задачи

Гидравлика — прикладная наука, изучающая законы равновесия и движения жидкости и разрабатывающая на основе теории и эксперимента способы применения этих законов к решению различных задач инженерной практики.

Слово гидравлика произошло от сочетания двух греческих слов «хюдор» — вода и «аулос» — труба. Возникновение гидравлики как науки в древнее время объясняется практической необходимостью объединения правил и опыта, связанных с движением воды в трубах, то есть расчета и строительства водопроводов.

Содержание современной гидравлики несравнимо шире — в настоящее время трудно найти какую-либо отрасль техники, в которой так или иначе не применялись бы законы гидравлики. Главнейшие области применения гидравлики — это гидротехника и мелиорация, водоснабжение и канализация, гидроэнергетика и водный транспорт, автомобильные и железные дороги, машиностроение, авиация, кораблестроение, теплотехника, гидропневмоавтоматика, атомная энергетика и многие другие. Значительна роль этой науки в химической технологии, пищевой и легкой промышленности, автомобилестроении, гидрологии и метеорологии, фи-

зиологии, сельском хозяйстве и др. Естественно, что для каждой из этих отраслей характерен свой круг гидравлических задач и соответствующих методов их решения. Однако все они основаны на общих законах равновесия и движения жидкостей.

Гидравлика является одной из отраслей механики — *механикой жидкости*. В механике жидкости широко используется понятие «частицы жидкости», под которой понимают бесконечно малый объем сплошной среды, который при движении деформируется и не смешивается с окружающей средой. Деформируемость частицы жидкости является ее главной кинематической особенностью как элемента сплошной среды. Изучаемая масса жидкости или газа рассматривается как совокупность непрерывно распределенных по объему частиц жидкости, то есть как непрерывная сплошная среда. При этом исключаются из рассмотрения молекулярные движения, а изучаются только движения, вызываемые внешними силами. С математической точки зрения условие сплошной среды означает, что любая функция, характеризующая состояние жидкости является непрерывной и дифференцируемой (кроме особых точек). Благодаря таким предпосылкам стало возможным получение дифференциальных уравнений равновесия и движения жидкости. Решения этих урав-

нений позволяют получить параметры механического равновесия или движения жидкости в любой точке пространства.

Гидравлику подразделяют на две части: гидростатику и гидродинамику. В первой из них изучаются законы равновесия жидкостей, а во второй — законы их движения. Во вторую часть часто включают «кинематику жидкости» — раздел гидродинамики, рассматривающий возможные виды и формы движения жидкостей без выяснения его причин.

В прикладной механике жидкости (гидравлике) при решении различных практических задач широко используются те или иные допущения и предположения, которые упрощают рассматриваемый вопрос. При этом стремятся к оценке только главных параметров изучаемого явления и часто оперируют теми или иными интегральными и осредненными величинами.

Во многих случаях в гидравлике рассматриваются одномерные задачи, для решения которых достаточно знать по сечениям сплошной среды только средние значения расчетных характеристик, для определения которых получен ряд основных уравнений гидравлики.

§ 1.2. Методологические основы гидравлики и ее связь с другими дисциплинами

Механика жидкости, являясь частью общей механики, относится к естествознанию, развитие которого в нашей стране связано с марксистско-ленинской теорией исторического развития так же, как и общественные науки опираются на прочную естественно-научную основу в материалистическом естествознании. В условиях современного производства единство общественных, естественных и технических наук нахо-

дит свое проявление в процессе превращения науки в непосредственную производительную силу.

В основе гидравлики лежит диалектико-материалистическое понимание природы. Все частные законы механики жидкости являются проявлением *всеобщих диалектических законов*. Как известно, к всеобщим законам относятся универсальные диалектические отношения между всеми существующими предметами, их свойствами, тенденциями изменяющейся материи, то есть наиболее общие законы движения, развития природы, общества и мышления. Именно эту, первую, группу законов изучает марксистско-ленинская философия.

Вторая группа законов — *законы общие*, но не всеобщие. Они выражают существенные общие свойства и закономерности развития сравнительно больших групп явлений и процессов (законы сохранения массы, энергии, количества движения и др.).

К третьей группе относятся *частные законы*, выражающие соотношение между специфическими свойствами отдельных объектов или между процессами в рамках одной и той же формы движения материи. Они проявляются в конкретных условиях и имеют весьма ограниченную сферу действия. Частные законы гидравлики раскрывают одну из форм проявления всеобщей диалектической взаимосвязи и взаимообусловленности явлений и проявления некоторых, имеющих отношение к гидравлике, законов второй группы.

В основе исследований гидравлики заложен ленинский принцип познания: «От живого созерцания к абстрактному мышлению и от него к практике — таков диалектический путь познания истины, познания объективной реальности»*.

* Ленин В. И. Полн. собр. соч., — 5-е изд. — Т. 29. — С. 152—153.

Научная абстракция играет большую роль в изучении всех процессов, протекающих в природе и обществе, она позволяет углубиться в изучаемые явления. В гидравлике сначала то или иное явление изучается в природе, затем на основании осознания с происходящими процессами делаются теоретические выводы и построения, которые проверяются на практике и корректируются.

При изучении курса гидравлики можно убедиться в диалектической противоречивости применения абстракций разного уровня. Так, при выводе ряда теоретических зависимостей считают, что жидкость несжимаема и в ряде случаев пренебрегают также силами трения (вязкостью) и в итоге приходят к воображаемой модели — идеальной жидкости. Принятие такой абстрактной физической модели дает возможность создать и математическую модель рассматриваемого явления и значительно упростить получение общей структуры теоретической зависимости, описывающей взаимосвязь основных параметров жидкости. Полученная таким путем зависимость в дальнейшем может быть уточнена введением поправочных коэффициентов для тех случаев, когда принятые допущения привели бы к значительным погрешностям или к искажению физической сути явления.

В гидравлических исследованиях и расчетах используются как аналитический так и экспериментальный методы. При аналитическом методе используют общие законы механики и получают частные законы гидравлики — уравнения равновесия и движения жидкости, устанавливающие зависимости между кинематическими и динамическими характеристиками движущейся жидкости. Все эти законы первоначально получаются для модели жидкости — идеальной жидкости. Естественно, что принятие такой модели вносит погрешности

в результаты аналитических исследований, которые оцениваются экспериментальным путем.

Роль экспериментальных исследований в гидравлике чрезвычайно важна. Еще в свое время Леонардо да Винчи отмечал, что «всякий раз когда имеешь дело с водой, прежде обратись к опыту, а потом уже рассуждай». Экспериментальные исследования проводятся как в лабораториях при физическом моделировании гидравлических процессов для различных типов конструкций и сооружений, так и в натуральных условиях. Получаемые таким образом экспериментальные данные позволяют как уточнять аналитические решения, так и получать самостоятельные расчетные зависимости.

В последние годы при изучении естественных дисциплин и в том числе гидравлики большое значение придается математизации изложения курса. При этом: во-первых, процесс математизации научного знания выражает объективную закономерность развития познания, согласно которой активное отражение субъектом окружающего мира включает в себя абстракции разной степени общности; во-вторых, математизация научного знания не отрывает, а наоборот, приближает его к реальной действительности.

В связи с этим в последнее время в гидравлике все более широко используется математическое моделирование, основанное на изучении математической модели того или иного гидравлического явления, описываемого определенными математическими уравнениями. Для решения математических моделей на ЭВМ в гидравлике применяются вычислительные методы (обычно метод конечных разностей — МКР или метод конечных элементов — МКЭ). Гидравлику, использующую эти численные методы расчета обычно называют вычислительной гидравликой.

Таким образом, методом гидравлических исследований можно считать рациональное сочетание аналитического и экспериментального (физическое и математическое моделирование) методов.

Гидравлика в своих исследованиях опирается на законы физики и теоретической механики, широко используя для решения практических задач соответствующие математические методы.

§ 1.3. Краткий исторический очерк развития гидравлики

Гидравлика — наука древняя и вечная молодая. Реки, каналы, шлюзы, мощные гидро- и атомные электростанции, движение воды в грунтах, переходы через водотоки, трубопроводы, гидравлические машины, гидроприводы, теплообменные и теплогенерирующие аппараты, вентиляционные системы, различные летательные аппараты — такие различные объекты являются сферой приложения законов гидравлики. Это отрасль знаний, где теоретические исследования тесно связаны с решением практических задач.

Вода всегда играла большую роль в жизни человека.

Зарождение отдельных представлений из области гидравлики уходит корнями в глубокую древность — Египет, Рим, Вавилон, Греция, Китай, Месопотамия, в нашей стране — Закавказье и Средняя Азия.

В Древней Греции появились трактаты, в которых предпринимались попытки дать некоторое обобщение вопросов механики жидкости. Первым научным трудом в области гидравлики можно считать трактат Архимеда «О плавающих телах», появившийся за 250 лет до н. э. В этом трактате изложены основы теории плавания тел и устойчивости плавающего тела, приводится известный закон Архимеда.

Древний Рим многое заимствовал у греков в строительстве систем водоснабжения, акведуков, каналов и др. Как указывает римский инженер-строитель Фронтин (40—103 гг. н. э.) во времена императора Траяна в Риме было 9 водопроводов общей длиной 436 км. Вероятно, наибольший опыт в вопросах гидравлики был накоплен именно в период строительства водопроводов, так как само понятие гидравлика связано с движением воды в трубе. Видимо, римляне уже в тот период обратили внимание на наличие связи между площадью живого сечения и уклоном дна русла, на сопротивление движению воды в трубах, на неразрывность движения жидкости.

На протяжении последующих 15 веков в эпоху засилья мракобесия и реакции церкви, гидравлика, как и все остальные науки, не получила существенного развития. Этот период считается регрессом в гидравлической науке.

Период Возрождения характеризуется появлением в Италии гениальной личности — Леонардо да Винчи (1452—1519 гг.), который обладал обширнейшими знаниями в физике, механике, строительстве и архитектуре, анатомии и живописи и др. Леонардо да Винчи занимался разработкой теорий плавания и истечения жидкости из отверстий, изучением водосливов, свободных струй, гидравлических машин, а также механизма движения воды в трубах, реках и каналах (гидравлические сопротивления, распределение скоростей по сечению, неустановившееся движение жидкости, гидравлический прыжок и др.).

Во второй половине XV в. и в XVI в. начали развиваться экспериментальные исследования, постепенно опровергавшие схоластические воззрения по научным вопросам. Именно в этот период механика, являющаяся теоретической базой гидравлики, избавляется от мета-

физических представлений и превращается в физическую науку.

Изобретение европейцами печати способствовало распространению накапливающихся знаний. В 1585 г. появилась книга голландского ученого С. Стевина «Начала гидростатики», в 1612 г. была напечатана книга Г. Галилея «Рассуждение о телах, пребывающих в воде и о тех, которые в ней плавают».

Дальнейшие работы в области гидравлики связаны с именами Б. Кастелли, Э. Торричелли, Э. Мариотта, Б. Паскаля, Х. Гюйгенса и др. Особо следует отметить работы И. Ньютона, который в 1687 г. высказал гипотезу о законе внутреннего трения в жидкостях.

Работы ученых XVI—XVII вв. касались отдельных вопросов гидравлики и поэтому не могли послужить основанием для выделения гидравлики в самостоятельную отрасль знаний. Основоположниками гидравлики, как самостоятельной науки явились члены Российской академии наук М. В. Ломоносов, Д. Бернулли и Л. Эйлер, которые создали современные теоретические основы механики жидкости.

М. В. Ломоносов является одним из виднейших представителей прогрессивной, творческой линии в науке. Естественный философ, поэт, историк, художник, исследователь природных богатств нашей страны, общественный деятель — он полнее и глубже раскрылся в физике и химии. Он основоположник материалистических идей в русской науке, в этом состоит одна из главных его научных заслуг. С самого начала своей научной деятельности М. В. Ломоносов выступает не только как теоретик, но и как блестящий экспериментатор, практик. Дороги до сих пор советским людям слова Михаила Васильевича, обращенные к народу: «Моря соедини — реками, и рвами болота иссуши». В своей диссертации «Рассуждение

о твердости и жидкости тел» (1760 г.) он изложил закон сохранения массы и энергии, лежащий в основе гидравлики. Многочисленные вопросы гидравлики и гидротехники нашли свое развитие в таких работах М. В. Ломоносова: «О превращении твердого тела в жидкое, в зависимости от движения предшествующей жидкости» (1738 г.), «Первые основания металлургии или рудных дел» (1762 г.), «Лифляндская экономика» и в ряде многочисленных рапортов. С появлением работ М. В. Ломоносова в стенах Петербургского института инженеров путей сообщения появилась единственная в России гидравлическая школа.

Д. Бернулли в Петербурге написал капитальный труд «Гидродинамика или записки о силах и движении жидкости», опубликованный в 1738 г. в Страсбурге. В этом труде Д. Бернулли изложил эффективный метод изучения движения жидкости, ввел понятие «Гидродинамика», дал теоретическую основу известного уравнения, носящего его имя (уравнение Д. Бернулли для установившегося плавноизменяющегося движения), которое является одним из основных уравнений современной гидравлики.

Л. Эйлер стал преемником Д. Бернулли. Работая в Петербурге, он подытожил и обобщил в безупречной математической форме работы предшествующих авторов, первым допустил, что жидкость является несжимаемой, и вывел для нее в 1755 г. дифференциальные уравнения относительного равновесия и движения, носящие его имя. Л. Эйлер раскрыл природу взаимодействия твердого тела с натекающей жидкостью, опубликовал целый ряд других оригинальных гидромеханических решений, широко используя созданный к тому времени математический аппарат.

На основе исследований Л. Эйлера возникла родственная гидравлике наука — теоретическая гидромеханика,

изучающая законы движения жидкостей строгими методами математического анализа. Получаемые в теоретической гидромеханике решения не всегда еще могут быть применены для практических расчетов, но эти решения позволяют раскрывать общие закономерности изучаемых явлений.

Развитию теоретической гидромеханики способствовали также работы Ж. Д'Аламбера, Ж. Лагранжа, П. Лапласа.

В эти же годы строитель Ладожского канала, а ранее Лиговского, сподвижник Петра I в боях под Полтавой и Нарвой, Гр. Гр. Скорняков-Писарев в 1722 г. написал «Первое учебное пособие по механике», большая часть которого была посвящена механике жидкости.

Наряду с развитием теоретической гидромеханики в середине и в конце XVIII в. во Франции образовывается особая школа инженеров-ученых, которые начали формировать и развивать техническую (прикладную) гидромеханику-гидравлику. Среди работ в этом направлении следует подчеркнуть работы А. Пито, Д. Полени, А. Шези, Ж.-Ш. Борда, П.-Л. Дюбуа, Д.-Б. Вентури и др. В результате проведенных исследований в гидравлике утвердились два основных направления: физическое моделирование в лаборатории различных гидравлических явлений и теоретическое построение приближенных расчетных зависимостей с введением в них эмпирических коэффициентов.

В этот же период началось преподавание гидравлики — механики жидкости — как инженерной дисциплины в учебных заведениях, которое впервые ввел Ш. Боссю. Во Франции в 1716 г. было основано специальное заведение «Эколь де пон э шоссе» (школа мостов и дорог), в котором большое внимание уделялось изложению и развитию курса инженерной гидравлики, что предподре-

делило в дальнейшем приоритет мостостроителей и гидротехников в решении прикладных задач гидравлики.

В России в 1836 г. был издан П. П. Мельниковым первый учебник по гидравлике «Основания практической гидравлики...», где были систематизированы все достижения в этой области. В 1855 г. была организована первая в России гидравлическая лаборатория при Петербургском институте инженеров путей сообщения. Позднее гидравлические лаборатории были организованы при Петроградском политехническом институте и в ряде других высших учебных заведений Москвы и Петрограда.

В XIX в. гидравлическая школа Франции быстро прогрессировала и разрослась, причем к ней присоединились специалисты других стран. Особо следует отметить роль в развитии гидравлики инженеров путей сообщения специального корпуса «Пон э Шоссе» (мостов и дорог). Среди них следует отметить Л. Навье, О. Коши, А. де Сен-Венана, А. Дарси, А. Дюпюи и ряда других.

Большую роль в развитии прикладной гидравлики сыграли работы Д. Бидоне (Италия), В. Вебера (Германия), У. Фруда (Англия), Р. Маннинга (Ирландия) и др.

Г. Хаген в 1869 г. впервые установил существование двух режимов движения жидкости. Д. И. Менделеев в 1880 г. также отметил наличие в природе двух режимов движения жидкости, характеризующихся различными законами сопротивления. Наиболее полное описание этих двух режимов (ламинарного и турбулентного) было дано в 1881—1883 гг. английским физиком О. Рейнольдсом.

В России в этот период развитию гидравлики, как науки, способствовали работы И. С. Громека, который заложил основы винтового движения жидкости.

Н. П. Петров теоретически обосновал гипотезу И. Ньютона о силе внутреннего трения в жидкостях и разработал гидродинамическую теорию смазки (1883 г.).

В 1884 г. в Петербургском институте инженеров путей сообщения была открыта первая в России кафедра гидравлики. Ее возглавил профессор Ф. Е. Максименко, опубликовавший в 1888—1891 гг. пять выпусков курса гидравлики.

Н. Е. Жуковский разработал теорию движения грунтовых вод (1889 г.) и теорию гидравлического удара в трубопроводах (1898 г.), им опубликован также ряд основополагающих трудов по механике жидкости и аэродинамике.

В начале XX в. Б. А. Бахметевым была развита теория неравномерного движения, широко используемая и в настоящее время.

После Великой Октябрьской социалистической революции развернулось строительство гидроэлектростанций, каналов, плотин и других гидротехнических сооружений, резко возросли темпы строительства дорог, особенно автомобильных, гидромелиоративного строительства, быстро начало развиваться гидромашиностроение. Все это выдвинуло ряд крупных инженерных задач, правильное решение которых потребовало развития всех областей науки и техники и в том числе гидравлической науки.

Ведущее место в развитии инженерной гидравлики принадлежит Н. Н. Павловскому и его школе, который развил теорию фильтрации воды, ряд разделов теории неравномерного движения в открытых руслах. Предложенный им метод электрогидродинамических аналогий (ЭГДА) можно считать прообразом современной аналоговой вычислительной техники.

Глубокие исследования различных

вопросов теории гидравлики были проведены И. И. Агроскиным, А. И. Богомоловым, М. А. Великановым, Ю. Н. Даденковым, Е. А. Замариным, Я. И. Леви, В. М. Маккаевым, А. Я. Миловичем, Г. И. Сухомелом, М. Д. Чертоусовым, Р. Р. Чугаевым, А. А. Угинчусом и многими другими видными советскими учеными.

Работы М. В. Келдыша, М. А. Лаврентьева, Л. И. Седова, Л. Г. Лойцянского в СССР, а также работы Д. Тейлора, Т. Кармана, Л. Прандтля, Г. Шлихтинга за рубежом явились основополагающими для многих разделов гидромеханики.

В развитии теории турбулентного режима движения жидкости ведущая роль принадлежит А. Н. Колмогорову, М. Д. Миллионщикову, А. С. Монину, А. М. Яглому и Д. Тейлору.

Вопросы неустановившегося движения воды в открытых руслах, которое в последние годы принимается за основной вид движения, отражены в работах С. А. Христиановича, В. А. Архангельского, Н. М. Бернадского, О. Ф. Васильева, Н. А. Картвелишвили и др.

За годы Советской власти были организованы крупные гидравлические лаборатории в академических, научно-исследовательских и учебных институтах и при больших строительствах. Полученный экспериментальный материал способствовал дальнейшему развитию гидравлики.

Приведенный выше краткий исторический обзор показывает, что современная гидравлика представляет собой органичный сплав науки и практики, опирающийся на теоретическую гидромеханику и поставленные на высоком уровне экспериментальные исследования.

Вопросы для самопроверки

1. Определение гидравлики как науки.
2. Области применения гидравлики.

3. Понятие гидравлики как механики сплошной среды.
4. Разделы гидравлики.
5. Методологические основы гидравлики.
6. Частные законы гидравлики и их связь с общими и всеобщими законами
7. Абстрактные модели в гидравлике.
8. Методы исследований в гидравлике.
9. Математическое моделирование в гидравлике

10. Зарождение гидравлики
11. Работы по гидравлике в период XVI—XVII вв.
12. Работы М. В. Ломоносова, Д. Бернулли, Л. Эйлера в области гидравлики
13. Развитие гидравлики во Франции в XVIII веке.
14. Развитие гидравлики в России в конце XIX и начале XX вв
15. Развитие гидравлики в СССР.

Глава 2. ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЖИДКОСТЕЙ

§ 2.1. Жидкости и их отличие от твердых и газообразных тел

Жидкость — агрегатное состояние вещества, сочетающее в себе черты как твердого, так и газообразного состояния.

Подобно веществам, находящимся в твердом состоянии, жидкость сохраняет свой объем и обладает определенной прочностью на разрыв, однако при этом обладает изменчивостью формы, что роднит ее с газами.

Благодаря легкоподвижности частиц, обусловленной слабостью сил межмолекулярного сцепления и, следовательно, неспособностью воспринимать в состоянии покоя даже малые касательные напряжения, жидкости и газы легко, не дробясь на части, изменяют свою форму, принимая форму того сосуда, в котором они находятся. Эта их способность неограниченно деформироваться под действием сколь угодно малых сил называется *текучестью*.

Когда жидкости и газы можно рассматривать как сплошную легкоподвижную среду, их объединяют единым понятием «жидкости», подразделяя на *капельные*, такие как вода, органические масла, нефть, ртуть, образующие капли, и *газообразные* — воздух и другие газы, в обычном состоянии капель не образующие.

Если объем капельной жидкости меньше объема сосуда, в который она

заклучена, эта жидкость занимает часть последнего; при этом образуется граница раздела жидкости и газа (воздуха, пара жидкости и т. д.), называемая *свободной поверхностью*.

В дальнейшем будет, как правило, рассматриваться свойство *однородных жидкостей*, имеющих в данный момент во всех точках занятого ею пространства одинаковые физико-механические свойства, такие как плотность, вязкость, сжимаемость, упругость и др.

Многие свойства жидкости известны изучающим курс гидравлики из физики, ряда смежных дисциплин и повседневной практики. Ниже кратко рассмотрены некоторые из них.

§ 2.2. Плотность и удельный вес жидкостей

Одна из важнейших физических характеристик жидкости — ее *плотность* ρ , то есть масса единичного объема жидкости.

Плотность однородной жидкости

$$\rho = \frac{M}{W}, \quad (2.1)$$

где M — масса рассматриваемой жидкости; W — объем этой массы.

Плотность — это характеристика среды, определяющая распределение масс. В произвольной точке она может быть