

# ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ.....</b>	<b>7</b>
<b>ЧАСТЬ ПЕРВАЯ. ГИДРОСТАТИКА .....</b>	<b>9</b>
<b>Глава 1. Общие сведения о жидкости и ее физические свойства .....</b>	<b>10</b>
1.1. Жидкости. Основные понятия .....	11
1.2. Основные физические свойства жидкостей .....	12
<b>Глава 2. Реологические и физические особенности     пищевых продуктов .....</b>	<b>28</b>
<b>Глава 3. Основные уравнения гидростатики .....</b>	<b>38</b>
3.1. Силы, действующие в жидкости .....	38
3.2. Дифференциальные уравнения равновесия Эйлера .....	40
3.3. Основное уравнение гидростатики .....	43
3.4. Гидростатический напор .....	45
3.5. Гидростатический парадокс, гидравлический пресс и гидроаккумулятор .....	46
<b>Глава 4. Относительное равновесие жидкости .....</b>	<b>52</b>
4.1. Относительный покой жидкости в сосуде при движении его по плоской поверхности .....	53
4.1.1. Закрытый сосуд с жидкостью, передвигающийся по вертикали вверх или вниз с ускорением $\vec{a}$ .....	53
4.1.2. Прямолинейное равноускоренное движение сосуда с жидкостью по плоской поверхности.....	53
4.1.3. Прямолинейное равноускоренное движение сосуда с жидкостью по наклонной поверхности .....	55
4.2. Относительный покой жидкости, находящейся в равномерно вращающемся сосуде с вертикальной осью вращения .....	56
4.3. Относительный покой жидкости, находящейся в равномерно вращающемся сосуде с горизонтальной осью вращения .....	57
<b>Глава 5. Силы гидростатического давления на плоские     и криволинейные поверхности.....</b>	<b>64</b>
5.1. Сила давления жидкости на плоскую вертикальную стенку .....	64
5.2. Сила давления жидкости на наклонную плоскую поверхность.....	66
5.3. Сила давления жидкости на криволинейную стенку .....	67
5.4. Тонкостенные цилиндрические сосуды, подверженные внутреннему давлению.....	73

5.4.1. Определение толщины стенки трубопровода.....	73
5.4.2. Определение толщины стенки (обечайки) вертикального цилиндрического сосуда .....	74
<b>ЧАСТЬ ВТОРАЯ. ГИДРОДИНАМИКА.....</b>	<b>77</b>
<b>Глава 6. Основы гидродинамики.....</b>	<b>78</b>
6.1. Основные понятия и определения.....	78
6.2. Уравнение неразрывности (сплошности) потока жидкости.....	80
6.3. Режимы движения жидкости .....	81
6.4. Уравнение Бернулли для идеальной жидкости.....	84
6.5. Уравнение Бернулли для потока реальной жидкости .....	86
<b>ЧАСТЬ ТРЕТЬЯ. ПРИКЛАДНЫЕ ЗАДАЧИ ГИДРАВЛИКИ.....</b>	<b>91</b>
<b>Глава 7. Практическое применение уравнения Бернулли .....</b>	<b>92</b>
7.1. Измерение расхода жидкости в трубопроводе.....	92
7.2. Струйные насосы.....	97
7.3. Насосы с эжектором на линии рециркуляции.....	98
7.4. Аэрация почвы.....	99
<b>Глава 8. Истечение жидкости через отверстия и насадки .....</b>	<b>101</b>
8.1. Истечение жидкости через отверстие при постоянном напоре .....	101
8.2. Траектория струи жидкости, вытекающей из сосуда.....	104
8.3. Истечение жидкости из отверстия при постоянном напоре и избыточном давлении .....	105
8.4. Истечение жидкости через насадки при постоянном напоре.....	105
8.5. Величина вакуума в насадке .....	108
8.6. Свободные незатопленные гидравлические струи .....	111
8.7. Дождевальные аппараты и насадки.....	114
8.8. Истечение жидкости при переменном напоре в резервуаре .....	119
8.9. Истечение жидкости через затопленное отверстие и насадок при переменном напоре .....	121
<b>Глава 9. Движение жидкости по трубопроводу.....</b>	<b>127</b>
9.1. Гидравлический расчет трубопровода.....	127
9.2. Гидравлические потери по длине трубопровода .....	128
9.3. Местные потери напора (местные сопротивления).....	131
<b>Глава 10. Трубы в системах водоснабжения.....</b>	<b>139</b>
10.1. Общие требования, предъявляемые к водопроводным трубам .....	139
10.2. Характеристика труб наружного холодного водоснабжения.....	142
10.2.1. Металлические трубы: стальные и чугунные .....	142

10.2.2. Пластиковые трубы .....	143
10.2.3. Новые виды полиэтиленовых труб .....	147
10.2.4. Трубы для пищевой промышленности .....	148
<b>Глава 11. Основы расчета напорных водопроводов .....</b>	<b>151</b>
11.1. Назначение и классификация трубопроводов.....	151
11.2. Расчет простых трубопроводных систем.....	152
11.3. Гидравлический удар в трубопроводах .....	157
<b>Глава 12. Пищевые насосы для вязких ньютоновских жидкостей .....</b>	<b>165</b>
<b>Глава 13. Пересчет характеристик центробежных насосов при перекачке вязких ньютоновских жидкостей.....</b>	<b>174</b>
<b>Глава 14. Характеристики объемных насосов при перекачке ньютоновских вязких жидкостей.....</b>	<b>179</b>
<b>Глава 15. Гидротранспорт в сельскохозяйственном производстве .....</b>	<b>182</b>
15.1. Общие сведения.....	182
15.2. Классификация и основные физико-механические свойства гидросмесей .....	182
15.3. Состав и свойства навоза.....	185
15.4. Транспортировка навоза/помета из животноводческих помещений к месту хранения (переработки, использования).....	187
15.5. Расчет гидронапорных трубопроводных установок.....	192
15.6. Насосы для навоза и навозных стоков .....	196
15.7. Характеристики насосов при перекачке структурных (неньютоновских) жидкостей .....	203
<b>ПРИЛОЖЕНИЯ.....</b>	<b>207</b>
<b>Приложение П1. ГОСТ 8.417-2002. Государственная система обеспечения единства измерений (СИ). Единицы величин .....</b>	<b>208</b>
<b>Приложение П2. Некоторые внесистемные единицы .....</b>	<b>209</b>
<b>Приложение П3. Соотношение основных величин в разных системах единиц .....</b>	<b>209</b>
<b>Приложение П4. Множители и приставки для образования кратных и дольных единиц и их наименований.....</b>	<b>210</b>
<b>Приложение П5. Коэффициенты перевода между энергетическими единицами .....</b>	<b>210</b>
<b>Приложение П6. Зависимость давления насыщенных паров воды от температуры .....</b>	<b>210</b>
<b>Приложение П7. Физические параметры воды на линии насыщения .....</b>	<b>211</b>

Приложение П8. Плотность $\rho$ и динамический коэффициент вязкости $\mu$ некоторых жидкостей .....	212
Приложение П9. Коэффициент структурной вязкости $\mu$ и начальное напряжение сдвига $\tau_0$ для ряда пищевых продуктов .....	212
Приложение П10. Трубы стальные водогазопроводные (ВГП) по ГОСТ 3262-75 .....	213
Приложение П11. Эквивалентная шероховатость труб $K_z$ .....	213
Приложение П12. Значение коэффициентов потерь в местных сопротивлениях $\xi$ .....	214
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....	215

# ВВЕДЕНИЕ

Гидравлика — наука о законах движения и равновесия жидкости и способах приложения этих законов к решению инженерных задач. Гидравлика включает гидростатику, кинематику, гидродинамику (иногда кинематику и гидродинамику объединяют под общим названием гидродинамика) и техническую гидравлику, где рассматривается широкий круг задач по расчету гидравлических емкостей, движения потоков по трубам, расчету и выбору гидравлических машин и др. Решение таких задач возможно при использовании трех первых, классических разделов гидравлики. В технической (прикладной) части гидравлики постепенно формируются задачи и темы по отдельным направлениям, что отразилось в названии книг и учебно-методических пособий, например, инженерно-строительная (гидротехническая) гидравлика, подземная гидравлика, гидравлика и гидропривод, гидравлика и гидромеханизация сельскохозяйственных процессов, гидравлика и нефтегазовая гидродинамика и т. д.

Главные области применения гидравлики сосредоточены в АПК, на который приходится значительный объем воды, потребляемой в народном хозяйстве. Эффективное ведение современного сельскохозяйственного производства связано с расчетом и эксплуатацией гидравлических машин, гидроприводов сельскохозяйственной техники, систем водоснабжения и водоотведения, мелиорации, гидротранспорта и др.

Для успешной работы инженерно-технический работник АПК должен обладать не только знаниями законов гидравлики, но и умениями применять эти знания на практике.

Настоящий учебник предназначен для бакалавров по направлению подготовки 35.03.06. «Агроинженерия». Здесь следует заметить, что двухступенчатая форма образования бакалавр/магистр изменила программы обучения и, главное, уменьшила часы преподавания не только по гидравлике, но и по другим базовым дисциплинам. Поскольку учебная программа по гидравлике рассчитана на сравнительно небольшое число часов теоретического обучения, пользование многочисленными объемными учебниками и пособиями представляет значительные трудности. Поэтому представленный учебник имеет сравнительно небольшой объем за счет сокращения ряда теоретических выводов, в большом объеме используемых в гидромеханике жидкостей и газов, например, дифференциальных уравнений равновесия, движения невязкой и вязкой жидкостей и других уравнений гидромеханики. Некоторые упрощения традиционно излагаемого материала предполагают, что в своей практической работе будущие специалисты — агроинженеры могут воспользоваться справочной и специальной литературой и, для расширения компетенций, более полными по объему учебниками по гидромеханике.



# **ЧАСТЬ ПЕРВАЯ ГИДРОСТАТИКА**

# Глава 1

## ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ЖИДКОСТИ И ЕЕ ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Объектом изучения гидравлики является жидкость.

Многолетний опыт преподавания гидравлики и смежных дисциплин (механика жидкости и газа, гидрогазодинамика и др.) показывает, что у студентов отсутствуют системные представления о том, что является объектом изучения в гидравлике. Базовые знания, заложенные в школе и курсах общей физики высшего образования, вносят терминологическую путаницу в головах студентов. Это связано с тем, что в курсах физики принято рассматривать три фазы вещества: твердую, жидкую и газообразную. Соответственно многие даже технически образованные люди объединяют понятия жидкая фаза вещества и жидкость как объект интересов гидравлики.

Далее в учебнике будут детально рассмотрены свойства жидкости. Здесь отметим, что жидкостью называется вещество, обладающее одновременно двумя свойствами — сплошностью (неразрывностью) и текучестью.

Первое свойство не требует специального объяснения.

Текучесть — это свойство жидкости начинать движение при сколь угодно малых касательных напряжениях. Понятие этого явления требует определенного воображения при сравнении покоя и движения твердых и жидких тел. При анализе статики, кинематики и динамики как твердого, так и жидкого тела принято рассматривать силы, действующие по нормали к поверхности тела — нормальные силы и силы, действующие вдоль этой поверхности — касательные. Соответственно, рассматриваются нормальные напряжения и касательные напряжения. Отметим здесь, что в гидравлике нормальное напряжение принято называть давлением.

При рассмотрении твердого тела анализ напряжений сводится к сравнению величины действующих напряжений с допустимыми напряжениями, не вызывающими деформации формы тела. То есть форма твердого тела остается неизменной как при покое, так и при движении. В жидком теле наличие сколь угодно малого касательного напряжения вызывает деформацию рассматриваемого тела.

Из этих общих представлений становится понятным, что жидкость, как объект изучения гидравлики — это жидкая и газообразная фазы вещества.

Соответственно, описание движения жидкого тела многократно сложнее, чем описание движения твердого тела. При движении твердого тела требуется описать его траекторию и вращение вокруг мгновенной оси. В жидком теле необходимо еще определить тензор скоростей деформации его объема.

Но жидкая и газообразная фазы вещества отличаются одним важным свойством — сжимаемостью. Жидкая фаза в техническом понимании практически несжимаема, газы легко изменяют собою объем под действием нормальных напряжений.



Развитие научных представлений о механике жидкости и газа шло параллельно, что также приводило к терминологической путанице. Так, например, важнейшее понятие в гидравлике — напор — может иметь разный смысл. Для несжимаемой жидкости — это отношение энергии к её весу, для сжимаемой жидкости — это отношение энергии к массе. Это также вызывает напряжение у студентов при изучении насосов и компрессоров, систем вентиляции и водоснабжения, гидравлических и пневматических систем регулирования и привода и т. д.

## 1.1. Жидкости. Основные понятия

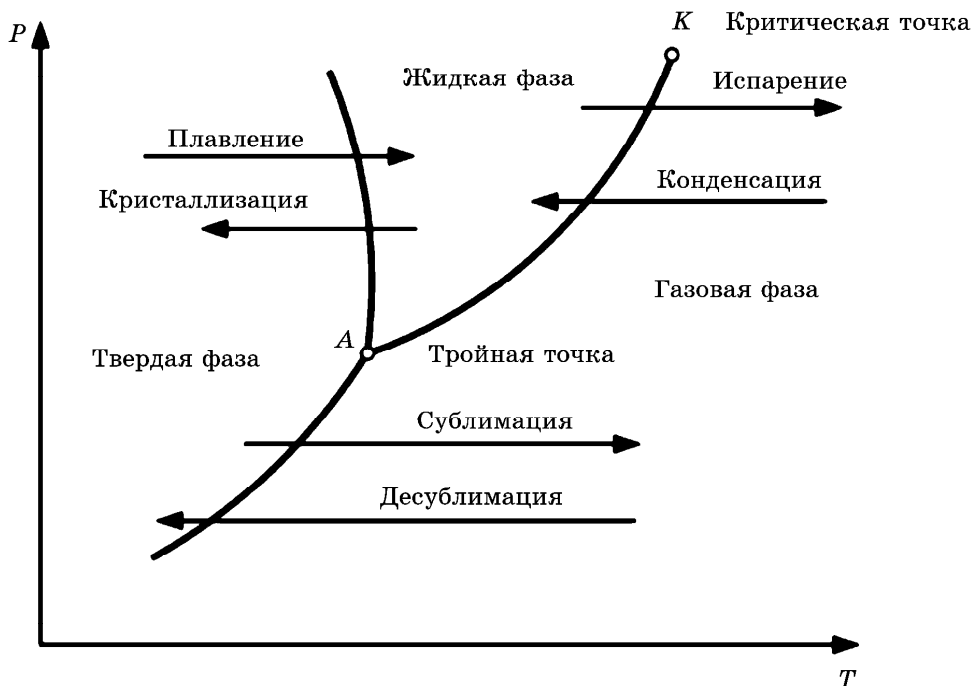
В российской энциклопедии и Википедии **жидкостью** называется агрегатное состояние вещества, промежуточное между твердым и газообразным его состояниями. Это определение не вносит полную ясность, так как не описывает свойство сжимаемости жидкости. Основные законы, описывающие покой и движение как сжимаемой, так и несжимаемой жидкости одинаковы.

Свойства несжимаемой жидкости сохранять объем, образовывать поверхность и обладать определенной прочностью на разрыв при всестороннем растяжении подобны свойствам твердых веществ; свойства жидкости принимать форму сосуда и обладать текучестью — свойству газообразного вещества.

Наиболее распространенная на нашей планете жидкость — вода — может принимать три основных агрегатных состояния (твердое, жидкое и газообразное), которые способны трансформироваться в разные формы, одновременно сосуществующие друг с другом (айсберги в морской воде, водяной пар и кристаллы льда в облаках на небе). Возможность перехода воды из одного агрегатного состояния в другое (из жидкого в лед или пар и обратно) определяется температурой и давлением. На фазовой диаграмме состояния воды (рис. 1.1) показана принципиальная возможность непрерывного перехода жидкости в твердое тело или газ, что свидетельствует о близости твердого, жидкого и газообразного состояний. В тройной точке *A* при температуре  $0,0075^{\circ}\text{C}$  и давлении  $611,657\text{ Па}$  в устойчивом равновесии могут одновременно существовать пар (газ), вода (жидкость) и лед (твердое вещество).

При более низких давлениях пар (газ) может сосуществовать лишь в равновесии со льдом (твердое вещество). В критической точке (*K*) при давлении  $220,64 \cdot 10^5\text{ Па}$  и температуре  $374,15^{\circ}\text{C}$  различия между жидкостью и паром исчезают. Если очень чистую воду охлаждать, тщательно предохраняя ее от сотрясения, то лед долго не образуется, несмотря на низкую температуру; практически такое охлаждение проводилось до температуры  $-72^{\circ}\text{C}$ . Однако переохлажденная вода малоустойчива; при внесении в нее кристаллика льда или встряхивании она сразу же превращается в лед. Переохлаждение воды в естественных водоемах при температуре  $0,005\text{--}0,01^{\circ}\text{C}$  встречается весьма часто. В грунтах вследствие повышенной минерализации переохлаждение воды может быть более значительным.

Жидкости разделяются на *сжимаемые* (газообразные) и *несжимаемые* или *малосжимаемые* (капельные).



**Рис. 1.1**  
Кривые фазовых переходов

Жидкости в гидравлике рассматриваются как идеальные и реальные.

*Идеальная жидкость* — абстракция, наделенная следующими свойствами: отсутствием сопротивления касательным силам сдвига и силам растяжения. Эта математическая модель жидкости применяется в гидравлике при расчете задач гидростатики.

*Реальные жидкости* — вязкие жидкости, обладающие сопротивлением, растягивающим и сдвигающим усилиям, т. е. наличием сил трения и касательных напряжений. Эта модель жидкости учитывает потери энергии на гидравлическое трение. Она применяется в анализе протяженных потоков с ограниченной величиной ускорений и является основой инженерной гидравлики. Для решения многих задач гидравлики отличием в свойствах идеальной и реальной жидкостей можно пренебречь, и поэтому физические законы, выведенные для идеальной жидкости, могут быть применимы к жидкостям реальным с соответствующим обоснованием.

## 1.2. Основные физические свойства жидкостей

Физические свойства жидкостей разделяются в основном на объемные (плотность, объемный вес, коэффициенты температурного расширения и объемного сжатия и др.) и на вязкие (динамическая и кинематическая вязкость, поверхностное натяжение и др.), величины которых зависят от давления, температуры, количества дисперсной фазы и других факторов.

**Плотность.** Отношение массы однокомпонентной жидкости  $m$  к ее объему  $V$  называется плотностью жидкости:

$$\rho = m/V, \text{ кг/м}^3. \quad (1.1)$$

Плотность двухкомпонентной смеси с массами компонентов  $m_1$  и  $m_2$  и с соответствующими объемами  $V_1$  и  $V_2$  рассчитывается по формуле

$$\rho_{\text{см}} = \frac{(m_1 + m_2)}{(V_1 + V_2)} = \frac{(\rho_1 V_1 + \rho_2 V_2)}{(V_1 + V_2)}. \quad (1.2)$$

Величины плотности капельных жидкостей изменяются в широких пределах, от 700 до 1800 кг/м<sup>3</sup>. С повышением температуры плотность всех жидкостей, как правило, уменьшается. Вода в этом отношении ведет себя аномально: при температуре от 3,8 до 4,2°C плотность воды максимальная и составляет величину 999,972 кг/м<sup>3</sup>. Такая температурная зависимость плотности характерна только для воды (рис. 1.2). Аномальное изменение плотности воды объясняется особенностями ее строения. При нагревании воды идут два параллельных процесса: первый — увеличение объема за счет увеличения расстояния между молекулами, второй — уменьшение объема благодаря возникновению более плотных гидролей и дигидролей.

В зоне температур выше 4°C интенсивнее происходит первый процесс, в интервале от 0 до 4°C — второй. В момент выравнивания влияния, оказываемого этими процессами на изменение объема воды, наступающего при 4°C, наблюдается наибольшая плотность.

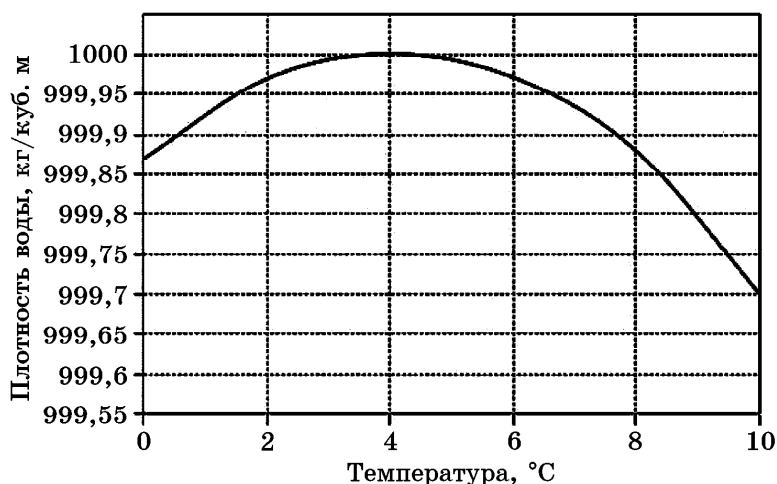


Рис. 1.2

Зависимость плотности воды от температуры

Другие распространенные жидкости не имеют максимума плотности на кривой  $\rho = \varphi(t)$ , их плотность равномерно снижается по мере роста температуры.

Плотность природной воды зависит от содержания растворенных веществ. Морская вода с концентрацией солей 35 г/л имеет среднюю плотность 1028,1 кг/м<sup>3</sup> при 0°C. Изменение солесодержания на 1 г/л изменяет плотность

воды на  $0,8 \text{ кг/м}^3$ . Плотность воды также довольно близка к ряду распространенных продуктов питания. Ее можно сравнить с вином, раствором уксуса, обезжиренным молоком, сливками. Немало среди продуктов питания и напитков с меньшей плотностью, чем вода: спирты, масло растительное, льняное и др., а также нефтепродуктов: бензин, керосин, мазут. Зависимость плотности воды от давления очень слабая; относительное изменение плотности воды при изменении давления на  $0,1 \text{ Мпа}$  — менее  $0,005\%$ . Обратная величина плотности — **удельный объем**:

$$\vartheta = 1/\rho, \text{ м}^3/\text{кг}. \quad (1.3)$$

**Объемный вес** однородной системы — это вес единицы объема тела или отношение веса (силы тяжести) к его объему. Иногда он называется **удельным весом**:

$$\gamma = G/V, \text{ Н/м}^3, \quad (1.4)$$

где  $G$  — вес однородного тела, Н;  $V$  — объем этого тела,  $\text{м}^3$ .

Объемный (удельный) вес и плотность связаны между собой отношением

$$\gamma = mg/V = \rho g. \quad (1.5)$$

Объемный вес зависит от ускорения силы тяжести  $g$  в месте измерения, поэтому отдается предпочтение плотности как справочной величине.

**Относительная плотность** — это отношение плотности  $\rho$  данной жидкости к плотности дистиллированной воды  $\rho_0 = 1000 \text{ кг/м}^3$  при температуре  $4^\circ\text{C}$  и давлении  $0,1 \text{ МПа}$ :  $\bar{\rho} = \rho/\rho_0$ . Относительная плотность показывает, во сколько раз рассматриваемая жидкость легче или тяжелее воды. Например, нефть с плотностью  $760\text{--}990 \text{ кг/м}^3$  будет плавать на воде.

**Вязкость.** В любой жидкости под влиянием внешней силы происходит перемещение молекул относительно друг друга. Возникающее при этом трение между молекулами, т. е. внутреннее сопротивление этому перемещению, называется внутренним трением или вязкостью. Вязкость играет двойную роль при движении жидкости. С одной стороны, она выступает как фактор, формирующий скоростное поле потока, передающий скорости от одного слоя к другому, сглаживающий различие скоростей в соседних точках, а с другой стороны — как фактор, оказывающий сопротивление движению, т. е. способствующий превращению механической энергии в тепловую. Влияние вязкости на сопротивление движению воды в естественных условиях в большинстве случаев является малым, и им можно пренебречь. В этих условиях основные потери энергии возникают вследствие преодоления сопротивлений, возникающих в результате неупорядоченного, вихревого течения воды.

Свойство, обратное вязкости — *текучесть*. Текучесть характеризует степень подвижности жидкости. На рисунке 1.3 показана эпюра скоростей вязкой жидкости, движущейся в трубе.

Вследствие тормозящего влияния стенки слои жидкости движутся с разными скоростями, значения которых возрастают по мере отдаления от стенок. Так, если слой  $B$  движется со скоростью  $u$ , то слой  $A$  — со скоростью  $(u + \Delta u)$ , а  $\frac{\Delta u}{\Delta y}$  — это относительный сдвиг или градиент скорости. Если расстояние между

слоями будет небольшим, то градиент скорости можно записать как  $\frac{du}{dy}$ . В результате сдвига соседних слоев появляется *касательное напряжение трения*. Согласно гипотезе Ньютона, касательное напряжение  $\tau$ , возникающее при движении жидкости, пропорционально скорости деформации объема жидкости:

$$\tau = \mu \frac{du}{dy}, \quad (1.6)$$

где  $\mu$  — коэффициент динамической вязкости жидкости, Па·с.

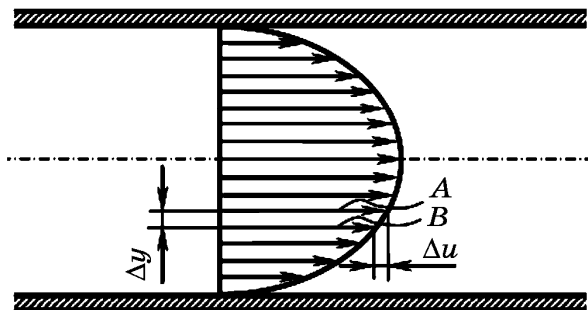


Рис. 1.3  
Распределение скоростей в сечении трубы  
при ламинарном режиме движения

Коэффициент динамической вязкости не зависит от характера движения жидкости, а определяется лишь физическими свойствами жидкости и ее температурой; в интервале температур от 10 до 200°C для воды  $\mu = (1306-136,4) \cdot 10^{-6}$  Па·с. Зависимость вязкости воды от давления незначительна, ею во многих расчетах можно пренебречь; ошибка при повышении давления до 5 МПа не превышает 0,5%. На практике чаще используется коэффициент кинематической вязкости. *Коэффициент кинематической вязкости* — это отношение коэффициента динамической вязкости к плотности жидкости при той же температуре:

$$\nu = \mu/\rho, \text{ м}^2/\text{с}. \quad (1.7)$$

В расчетах часто используется единица кинематической вязкости 1 сСт =  $\text{мм}^2/\text{с}$ .

Жидкость, которая подчиняется уравнению Ньютона (1.6), называется ньютоновской. Свойствами ньютоновской жидкости обладают большинство жидкостей (вода, растворы, низкомолекулярные органические жидкости), и все газы.

В неньютоновских жидкостях движение начинается лишь после того, как внешней силой будет преодолено напряжение сдвига  $\tau_0$ , Па, и касательные напряжения в таком случае определяются по формуле

$$\tau = \tau_0 + \mu \cdot du/dy. \quad (1.8)$$

При прочих равных условиях вязкость таких жидкостей значительно больше, чем у ньютоновских жидкостей. Это связано с тем, что благодаря сцеплению молекул или частиц в неньютоновской жидкости образуются

пространственные структуры, на разрушение которых затрачивается дополнительная энергия.

Значения коэффициентов структурной вязкости и начального напряжения сдвига некоторых пищевых продуктов приведены в приложении П9.

Неньютоновскими являются также многокомпонентные жидкости, которые содержат в своем составе вещества, значительно изменяющие вязкость жидкости и даже кардинально меняющие саму природу внутреннего трения. Например, кинематическая вязкость воды, содержащей некоторое количество мелких (менее 0,05 мм) взвешенных твердых частиц (на таких взвесах работают грунтовые, шламовые насосы) заметно увеличивается по сравнению с чистой водой. Так при температуре 5°C и количестве взвешенных частиц 100 мг/л коэффициент кинематической вязкости  $\nu = 1,6 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ , а при загрязнении 600 мг/л  $\nu = 2,0 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ .

Среди неньютоновских жидкостей принято выделять вязкопластичные, псевдопластичные и дилатантные жидкости.

*Вязкопластичные жидкости* (иначе называемые бингамовскими) отличаются тем, что под воздействием небольшого внешнего усилия они ведут себя как твердое тело, но если порог сопротивления превышен, то они начинают течь как обычные жидкости. Считается, что они имеют пространственную жесткую внутреннюю структуру, сопротивляющуюся любым внутренним напряжениям, меньшим критической величины. При превышении напряжением критического значения структура вязкопластичной жидкости разрушается, и она ведет себя как ньютоновская жидкость. При снижении напряжения ее структура восстанавливается. К вязкопластичным жидкостям относятся густые суспензии: масляные краски, некоторые смолы, лаки, натуральный каучук, зубная паста, губная помада, некоторые растворы и др. Так, у масляных красок при уменьшении толщины наносимого слоя происходит скачок вязкости из-за изменения скорости течения, благодаря чему краски легко наносятся на окрашиваемую поверхность, но становятся более вязкими будучи на ней. При этом они способны образовывать неподвижные слои на вертикальных поверхностях, в то время как любые обычные жидкости стекают вниз.

*Псевдопластичные жидкости*, в отличие от вязкопластичных, не обнаруживают предела текучести. Они, как и ньютоновские жидкости, начинают течь при самых малых значениях напряжения сдвига. Для этих жидкостей вязкость постепенно снижается с ростом скорости сдвига.

К псевдопластичным жидкостям относятся концентрированные растворы и расплавы многих полимеров с длинными цепями. В состоянии покоя цепи беспорядочно спутаны. Когда же суспензия начинает двигаться, цепи выстраиваются параллельно направлению движения, что приводит к снижению вязкости, причем эта тенденция усиливается с повышением скорости сдвига. *Дилатантные жидкости*, как и псевдопластичные, не обнаруживают предела текучести. У этих жидкостей, в отличие от псевдопластичных, вязкость сразу повышается с ростом скорости сдвига. Дилатантный эффект наблюдается в суспензиях с большим содержанием твердой дисперсной фазы. Такие суспензии при низких скоростях сдвига слоев относительно друг друга действуют подобно смазкам, способных

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

[e-Univers.ru](http://e-Univers.ru)