

Основные параметры и свойства жидкостей.

1) Гипотеза сплошности среды приводит к понятию плотности тела, находящегося в твердом, жидком и газообразном состояниях.

Плотность - основной параметр капельной жидкости.

Плотность ρ - величина, равная отношению массы Δm малого элемента тела объемом ΔW к этому объему.

Для однородной жидкости плотность во всех точках одинакова и равна $\rho = m / W$. Единица измерения в СИ - кг/м³.

Плотность неоднородной жидкости неодинакова в разных точках, поэтому вводится понятие плотности этой жидкости в локальной точке пространства: $\rho = \lim_{\Delta W \rightarrow 0} \frac{\Delta m}{\Delta W}$.

Плотность некоторых жидкостей: вода - 1000 кг/м³; ртуть - 13600 кг/м³; нефть - примерно 850 кг/м³.

Часто используют такие величины, как **относительная плотность δ** вещества, которая определяется отношением его плотности к плотности воды (H₂O) при температуре 4°C, имеющей плотность 1000 кг/м³: $\delta = \rho / \rho_{H_2O}$.

2) Исторически используется такая величина как **объемный (удельный) вес**, равная силы тяжести к объему $\gamma = G / W$. Единица удельного веса в СИ - Н/м³. Между рассмотренными единицами существует связь $\gamma = \rho \cdot g$, где g - ускорение свободного падения, $g = 9,81$ м/с².

3) **Сжимаемость** (объемная упругость) - свойство жидкости изменять свой объем обратимым образом под действием давления. Характеристикой служит коэффициентом объемного сжатия β_p , который представляет собой относительное изменение объема, приходящееся на единицу объема, при $T = const$, т.е.:

$$\beta_p = - \frac{dW}{W} \frac{1}{dp}$$

Знак минус в формуле обусловлен тем, что положительному приращению давления dp соответствует отрицательное приращение (уменьшение) объема dW .

Единица в СИ - 1/Па или м²/Н.

Величина, обратная коэффициенту β_p , представляет собой объемный модуль упругости $E_{ж}$ (иногда $K_{ж}$) - модуль Юнга и соответственно выражение

$$\frac{\Delta W}{W} = - \frac{dp}{E_{ж}}$$

описывает собой закон Гука для жидкости.

Закон Гука справедлив при ограниченных условиях, так как модуль упругости жидкости зависит от ряда факторов и в первую очередь от температуры и давления.

Путем некоторых последовательных преобразований получаем:

$$\frac{dp}{\rho} = \frac{dp}{E_{ж}} \text{ или } E_{ж} / \rho = dp/d\rho = c^2,$$

где c - скорость распространения упругих колебаний в жидкости, равная скорости звука в этой жидкости.

Для капельных жидкостей при изменении давления от 0 до 40 МПа плотность изменяется приблизительно на 2 %.

Модуль упругости зависит от рода жидкости и составляет для воды при абсолютной температуре $T = 293 \text{ K}$ - $E_{ж} = 2000 \text{ МПа}$.

Постоянно действующие межмолекулярные силы обеспечивают не только упорядоченное расположение молекул в пространстве, но и малую по сравнению с газами сжимаемость твердых и жидких тел.

В отличие от жидкостей газы способны сильно сжиматься.

зависимость между давлением и объемом определяется **уравнением Клайперона - Менделеева**: $p_T = \rho_T R T$, где p_T, ρ_T - абсолютное давление и плотность газа соответственно; R - газовая постоянная (для воздуха 287 Дж/кг K); $T = 273 + t^\circ\text{C}$ - абсолютная температура.

4) Тепловое (температурное) расширение - изменение размеров тела в процессе нагревания (при $p = \text{const}$) - характеризуется коэффициентом объемного расширения β_T , который равен отношению относительного изменения объема ΔW_T к приращению температуры на 1°C при $p = \text{const}$, т.е.: $\beta_T = \frac{\Delta W_T}{W_0} \frac{1}{\Delta T}$, где W_0 - объем при начальной температуре.

Единица в СИ - $\text{K}^{-1}, ^\circ\text{C}^{-1}$.

Для нефти и нефтепродуктов Д.И. Менделеевым получена зависимость изменения плотности от изменения температуры: $\rho = \frac{\rho_0}{1 + \beta_t \Delta T}$, где ρ и ρ_0 – значения плотностей при температурах T и T_0 соответственно; $\Delta T = T - T_0$.

5) **Вязкость** - свойство жидкостей и газов оказывать сопротивление сдвигу (скольжению) или относительному перемещению одной их части относительно другой. **Вязкость - внутреннее трение.**

Различает два рода вязкости: **объемную и тангенциальную.**

Объемная вязкость характеризует способность жидкости воспринимать сжимающие и растягивающие силы и проявляется в сдвиге фаз между давлением, оказываемом на жидкость, и объемной деформацией, которую создает это давление.

Тангенциальная вязкость - свойство жидкости оказывать сопротивление сдвигу (скольжению) или относительному перемещению ее слоев.

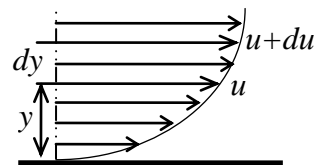


Рис.1.4. Профиль скоростей при течении вязкой жидкости вдоль стенки

При течении жидкости вдоль твердой стенки происходит торможение потока, обусловленное вязкостью (рис.1.4).

Скорость движения u уменьшается по мере сокращения расстояния y до стенки вплоть до $u=0$ при $y=0$.

В отличие от твердых тел, где напряжения пропорциональны деформации, в жидкостях, **согласно гипотезе Ньютона, касательные напряжения зависят от типа жидкости и скорости деформации.**

При слоистом течении касательное напряжение изменяется прямо пропорционально так называемому поперечному градиенту скорости (скорости деформации):

$$\tau = \pm \mu \frac{du}{dy}$$

где μ - коэффициент пропорциональности, получивший название **динамическая вязкость**; du/dy - изменение скорости, происходящее на единицу длины в направлении толщи y потока и, следовательно, характеризующее интенсивность сдвига слоев жидкости в некоторой точке.

Знак «+» или «-» выбирают в зависимости от знака скорости деформации так, чтобы напряжение было положительное.

Таким образом,
$$\mu = \frac{\tau}{grad u}.$$

За единицу динамической вязкости в СИ принят Паскаль-секунда (Па·с); в СГС - Пуаз (П), 1 П = 0,1 Па·с.

Наряду с динамической вязкостью μ применяют термин - **кинематическая вязкость** ν , которая определяется как $\nu = \mu / \rho$.

Единицей измерения в СИ является квадратный метр на секунду (м²/с); в МКГСС - стокс (Ст): 1 Ст = 10⁻⁴ м²/с.

В жидкостях молекулы расположены близко друг к другу, и вязкость обусловлена силами межмолекулярного взаимодействия, которые **с повышением температуры** ослабевают, поэтому **вязкость уменьшается** (рис.1.5).

В газах вязкость увеличивается с повышением температуры (см. рис.1.5).

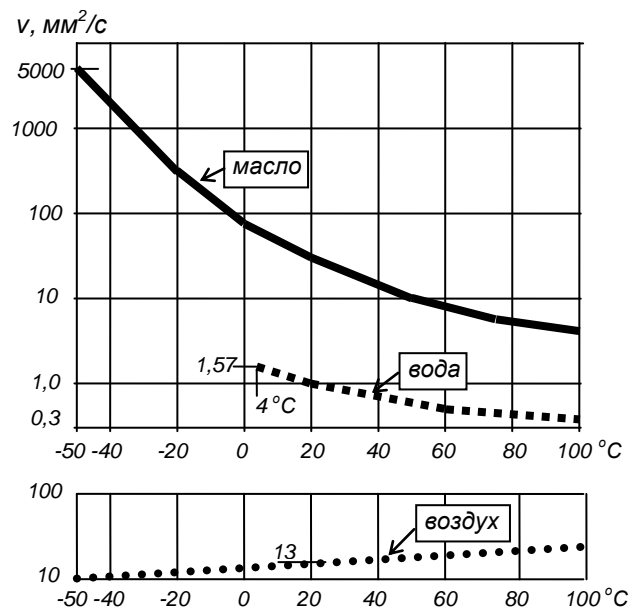


Рис.1.5. Зависимость вязкости капельной жидкости (масло, вода) и газа (воздуха) от температуры

В соответствии с гипотезой Ньютона в покоящейся жидкости касательные напряжения будем считать равными нулю.

Жидкости, для которых справедлива гипотеза Ньютона, называют **ньютоновскими**.

Существуют жидкости (коллоидные суспензии, растворы полимеров, строительные растворы и т.п.), для которых связь между касательным напряжением и скоростью сдвиговой деформации выражается другими соотношениями. Такие жидкости называют **неньютоновскими**.

6) **Растворимость газов** - возможность образования растворов. Газ растворяется в жидкостях при любых условиях. В единице объема жидкости количество растворенного газа различно для разных жидкостей и зависит от температуры и давления среды.

Относительный объем газа, растворенного в жидкости до полного насыщения, по закону Генри-Дальтона прямо пропорционален давлению смеси:

$$\frac{W_g}{W_c} = k \frac{p_c}{p_0},$$

где: W_g - объем растворенного газа, приведенный к нормальным условиям (за нормальные условия принято абсолютное давление $p_0 = 0,1$ МПа и температура среды $t_0 = 20$ °С); W_c - объем смеси; k – коэффициент растворимости данного газа в жидкости при температуре t_0 ; p_c - давление смеси, измеренное в абсолютных величинах. При нормальных условиях для фаз вода-воздух $k = 0,016$; нефть-воздух $k = 0,075 \dots 0,127$.

При понижении давления осуществляется интенсивное выделение газа, при чем процесс выделения газа из жидкости происходит более интенсивно, чем процесс растворения.

7) **Испарение** – процесс перехода жидкого или твердого состояния в газообразное состояние (пар).

Испаряемость свойственна всем капельным жидкостям и зависит от типа жидкости и условий эксплуатации.

Процесс интенсивного испарения жидкости не только с ее СП, но и по всему объему жидкости внутри с образованием при этом пузырьков пара называют **кипением**.

Более полной характеристикой испаряемости является давление насыщенных паров - $p_{н.п.}$, при котором пары жидкости находятся в равновесии с жидкостью и **число молекул, переходящих из жидкости в пар, равно числу молекул, совершающих обратный переход**, т.е. **это то минимальное давление, ниже которого в жидкости быть не может.**

8) **Сопротивление растяжению** внутри капельных жидкостей согласно молекулярной теории м. б. весьма значительным. **Однако реальные жидкости не выдерживают даже незначительных напряжений растяжения.**

В гидравлических расчетах принимают, что предел прочности жидкости наступает при падении давления в жидкости до значения $p_{нп}$, при котором начинается парообразование.

Давление парообразования всегда превышает абсолютный нуль, измеряется в абсолютных величинах и принимается как наименьшее давление в жидкостях.

В тех зонах потока, где давление падает до значения $p_{\text{шт}}$, нарушается сплошность внутри жидкости, т.е. образуются полости в капельной жидкости, заполненные газом, паром или их смесью (кавитационные пузырьки или каверны). Это состояние называют кавитацией (от лат.cavitas – пустота).

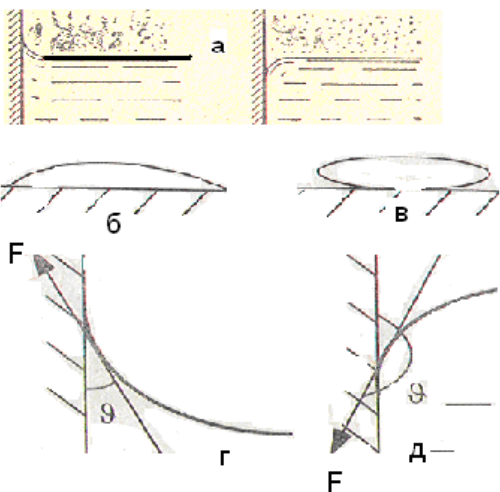
При кавитации наблюдаются фазовые переходы:

- 1) образование паровоздушных пузырьков, содержащих воздух, растворенный и смешанный с жидкостью и выделившийся из жидкости при понижении давления, и пары жидкости;
- 2) перенесенные в область с повышенным давлением пузырьки сжимаются и захлопываются. Процесс захлопывания сопровождается повышением давления и температуры в точке захлопывания, что вызывает повышенные шумы, удары, колебания давления в жидкости и приводят к кавитационной эрозии.

9) **Силы поверхностного натяжения.**

Условия, в которых находятся молекулы покоящейся жидкости на границе с газом, твердым телом или между двумя несмешивающимися жидкостями отличаются от условий, в которых находятся молекулы внутри жидкого объема.

СП жидкости горизонтальна по всей поверхности раздела между жидкой и газообразной средой, **кроме точек вблизи твёрдой стенки сосуда**, где проявляются молекулярные силы взаимодействия твёрдых стенок с жидкостью (рис. 2.3, а).



На поверхности раздела жидкости и воздуха действуют силы поверхностного натяжения, стремящиеся придать объёму жидкости сферическую форму (это свойство заметно проявляется лишь для малых объёмов жидкости).

Оно проявляется также при выливании капли жидкости на твёрдую поверхность:

рис. 2.3,б – форма капли для смачивающей жидкости;

рис. 2.3,в – форма капли для несмачивающей жидкости.

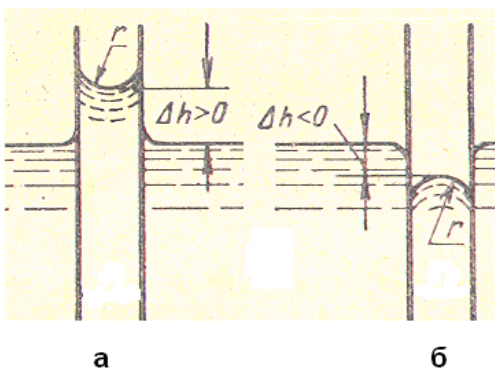
Рис.2.3. Форма СП вблизи твёрдой стенки сосуда

Поверхность у стенок сосуда искривлена (рис.2.3,г,д), и искривление сопровождается появлением дополнительного давления.

Касательная к проекции сферической поверхности (F), направленная в сторону стенок трубки в зависимости от смачивания (рис.2.3,г) или не смачивания (рис.2.3,д) твёрдой поверхности жидкостью может иметь **разный краевой угол θ** , соответствующий смачиванию или его отсутствию.

Со свойством поверхностного натяжения тесно связано явление **капиллярности**, под которым понимают **свойство капельной жидкости подниматься или опускаться в трубках малого диаметра под действием дополнительного давления, вызванного силами поверхностного натяжения.**

Трубка небольшого диаметра, в которой отсутствует горизонтальный участок поверхности раздела, называется капилляром. В этой трубке дополнительное давление может поднимать уровень жидкости (при смачивании – рис.2.4(а) – **вода-стекло**) или опускать его (при несмачивании - рис. 2.4(б) – **ртуть-стекло**).



Однако, при большой площади свободной поверхности (СП) влияние этого давления невелико и в технических расчётах его можно не учитывать.

Рис. 2.4. Формирование подъёма жидкости в капилляре: при смачивании (а) и опускания при несмачивании (б).

10) Для жидкостей, используемых в гидравлических приводах и системах, следует дополнительно отметить следующие физические свойства:

- **удельная теплоемкость,**
- **теплопроводность,**
- **температуры вспышки и застывания,**
- **кислотное число.**

Удельной теплоемкостью называют отношение количества теплоты, поглощенной телом при бесконечно малом изменении его температуры, к этому изменению. Единицы удельной теплоемкости в СИ - джоуль на килограмм- кельвин (Дж/(кг·К)).

11) **Теплопроводность** - теплообмен, при котором осуществляется перенос теплоты от более нагретых частей тела к менее нагретым и происходит выравнивание температуры.

Диапазон температур эксплуатации рабочей жидкости гидроприводов регламентируется, как правило, температурами вспышки и застывания.

12) **Температура вспышки** - температура, при которой пары жидкости, нагреваемой в начале опыта со скоростью **10 °/мин** и **4 °/мин** до достижения ожидаемой температуры в открытом тигле, образуют с окружающим воздухом смесь, вспыхивающую пробегающим по поверхности и исчезающим синим пламенем при поднесении к поверхности жидкости на расстояние 10...14 мм открытого огня (ГОСТ 4333).

Температура вспышки в резервуарах при хранении обычно несколько ниже (до 10°C) температуры, определяемой в тигле. Т.о. максимальная температура нагрева рабочей жидкости должна быть на 10...15°C ниже температуры вспышки в открытом тигле. Поэтому, при прочих равных условиях высокая температура вспышки предпочтительна.

13) **Температура застывания** - температура, при которой рабочая жидкость загустевает настолько, что при наклоне пробирки на 45° уровень жидкости в течение 1 минуты остается неизменным (ГОСТ 20287). Температура эксплуатации жидкости в гидроприводе должна быть на 10...17°C выше температуры застывания.

Свойства рабочей жидкости, проявляющиеся только при низких температурах, характеризуются вязкостью и температурой застывания. С понижением температуры гидравлическая жидкость становится все более вязкой, пока совсем не потеряет подвижность.

С увеличением вязкости растут потери на трение при движении жидкости по магистралям и при фильтрации, усложняется пуск гидропривода.

Поэтому более существенным показателем низкотемпературных свойств рабочей жидкости являются показатель вязкости и растворимость различных компонентов при низких температурах, а не температура застывания.

14) **Кислотное число** - количество миллиграммов щёлочи КОН, необходимое для нейтрализации свободных органических кислот (образовавшихся в процессе работы и обладающих коррозионной агрессивностью), содержащихся в 1г рабочей жидкости, является определяющим показателем кислотного числа.

Различия механики жидкости от механики газа в следующем:

- 1) жидкость обычно имеет СП;
- 2) газ – тело, которое легко сжимается и в котором скорость распространения звука (и всех механических возмущений) значительно меньше чем в жидкости; это необходимо учитывать, когда скорость движения газа (тел в газе) становится соизмеримой со скоростью звука или превышает ее;
- 3) в газе можно неограниченно уменьшать давление или повышать температуру, и при этом свойства газа изменяются непрерывно; в жидкости понижение давления ведет к кавитационным явлениям, что качественно изменяет общие свойства среды и общую картину течения, подобное может наблюдаться при значительном повышении температуры жидкости.

При рассмотрении различных вопросов, касающихся покоя и движения жидкости, пользуются иногда понятием **“идеальная жидкость”**:

- абсолютно несжимаемая жидкость;
- отсутствие вязкого трения;
- полное отсутствие теплового расширения.

Идеальная жидкость – фиктивная жидкость, не существующая в действительности. Однако использование такой модели жидкости позволяет решать некоторые практические задачи гидродинамики.