

Свойства жидкости

Физические основы
функционирования
гидросистем

Список литературы

- Альтшуль А.Д., Киселев П.Г. «Гидравлика и аэродинамика» – М.: Стройиздат, 1975 – 328с.
- Башта Т.М., Руднев С.С. и другие «Гидравлика, гидромашины и гидроприводы» - М.: Машиностроение, 1982 – 424с.
- Большаков В.А., Попов В.Н. «Гидравлика». Общий курс – Киев: Высшая школа, 1989 – 216с.
- Каминер А.А., Яхно О.М. «Гидромеханика в инженерной практике» – Киев, Техника, 1987 – 176с.
- Лойцянский Л.Г. «Механика жидкости и газа» – М.: Наука, 1978 – 736с.
- Угингуст А.А. «Гидравлика и гидравлические машины» – Харьков», Издательство Харьковского университета, 1970 – 395с.
- Чугаев Р.Р. «Гидравлика». – Л: Энергоиздат, 1982 – 672с.
- Герц Е.В. «Пневматические» приводы» – М: Машиностроение, 1969 – 359с.

- К понятию «жидкость» относят все тела, для которых свойственна текучесть, т.е. способность сильно изменять свою форму под действием сколь угодно малых сил.
- Таким образом, под термином «жидкость» понимают как обычные жидкости, называемые капельными, так и газы.

- Для капельных жидкостей характерным является то, что они, будучи в малом количестве, под действием сил поверхностного натяжения принимают сферическую форму, а в большом количестве — обычно образуют свободную поверхность раздела с газом. Важной особенностью капельных жидкостей является и то, что они ничтожно мало изменяют свой объем при изменении давления, поэтому их обычно считают несжимаемыми.

- Газы, наоборот, могут значительно уменьшаться в объеме под действием давления и неограниченно расширяться при его отсутствии, т.е. они обладают большой сжимаемостью. В дальнейшем под термином «жидкость» будем понимать именно капельную жидкость.

Гидромеханика

Раздел механики (механики сплошных сред), в котором изучают равновесие и движение жидкости, а также силовое взаимодействие между жидкостью и обтекаемыми ею телами называют гидромеханикой.

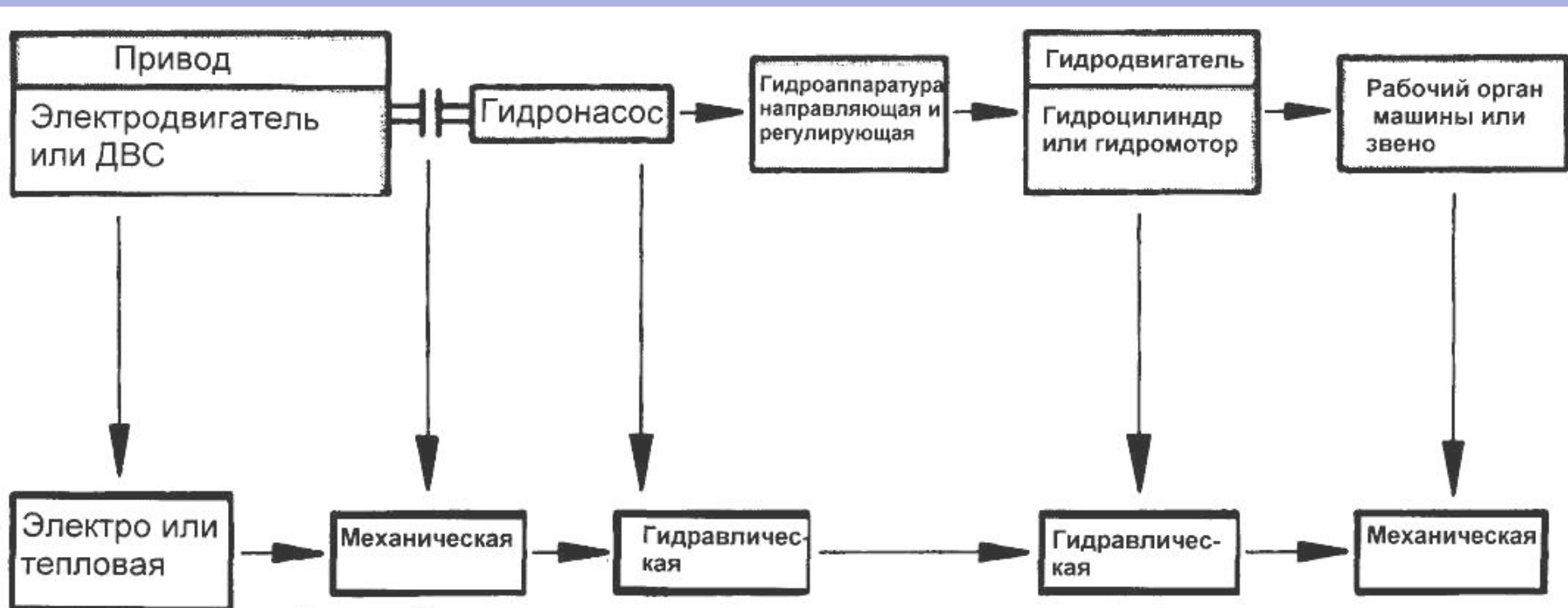
Процессы и явления, происходящие в различных жидкостях в состоянии равновесия или движения, подчиняются единым физическим законам.

Гидравлика

- 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.

- В наши дни понятие **гидравлика** включает в себя передачу и регулирование сил и движений с помощью жидкостей.
- В гидравлике можно выделить два раздела - это гидростатика и гидродинамика. В гидростатике рассматриваются механические свойства жидкостей, законы равновесия жидкости и действие жидкости на соприкасающиеся с ней твердые тела (учение о равновесных состояниях жидкостей).
- В гидродинамике изучаются законы движения жидкости и взаимодействие жидкости с соприкасающимися твердыми телами (теория потока)

- Схема преобразование энергии в гидравлической установке



- Кроме гидравлики существуют и другие способы передачи энергии, например, механический (с помощью валов, кривошипно-шатунных механизмов и т.д.), электрический способ (с помощью асинхронных двигателей и т.п.), электронный способ (с помощью усилителей и электронных преобразователей).
- Каждый из этих способов применяется в определенных областях. В некоторых случаях возможно применение нескольких способов.

Гидравлическое регулирование и гидропривод обладает рядом

преимуществ:

- 1. Обеспечивается возможность бесступенчатого регулирования скорости на выходе в широких пределах.
- 2. Обеспечивается надежное ограничение максимальных нагрузок и предохранение машины от поломок.
- 3. Обеспечивается упрощение механических передач, а при использовании высокомоментных гидродвигателей возможно полное их устранение.
- 4. Обеспечивается независимость расположения отдельных узлов, что упрощает компоновку машины. Независимость расположения осей насоса и гидродвигателя создает большие компоновочные удобства и позволяет уменьшить вес и габариты машины. (Вес и габариты гидропривода на 15-20% меньше электропривода такой же мощности)

- 5. Создаются благоприятные условия для автоматизации рабочих процессов.
- 6. Возможно получение больших усилий (моментов) при ограниченных габаритах силовой передачи (высокая энергонасыщенность).
- 7. Возможно получение прямолинейных движений без каких-либо преобразований (система "насос-силовой цилиндр").
- 8. Автоматическое реверсирование подачи.
- 9. Перемещение рабочего органа осуществляется из состояния покоя при полной нагрузке.
- 10. Сравнительно простая аккумуляция энергии.

Гидропривод разделяется по энергетическому признаку:

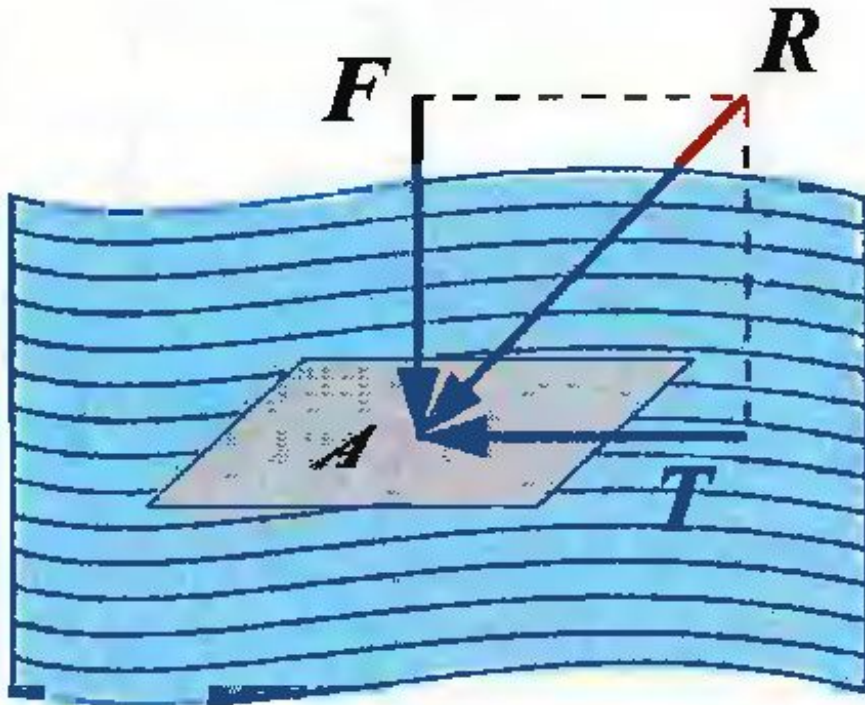
- - гидростатический (объемный) привод;
- - гидродинамический привод.
- ***Гидростатический (объемный) привод*** - это гидропривод, в котором используется потенциальная энергия жидкости (энергия давления).
- ***Гидродинамический привод*** - это гидропривод, в котором используется кинетическая энергия жидкости в виде скоростного напора.

- С целью облегчения решения многих задач инженерной гидравлики введено понятие идеальной жидкости – это условная жидкость, которая обладает абсолютной несжимаемостью, подвижностью и отсутствием сил сцепления, т.е. вязкостью равной нулю.

Жидкость

- Жидкостью называется сплошная среда, способная легко изменять свою форму под действием даже незначительных сил.
- Жидкость – агрегатное состояние вещества, сочетающая в себе черты как твердого, так и газообразного состояния.
- Способность жидкости неограниченно деформироваться под действием сколь угодно малых сил называются текучестью.

Силы, действующие в жидкости. Давление



$$\frac{T}{A} = \tau$$

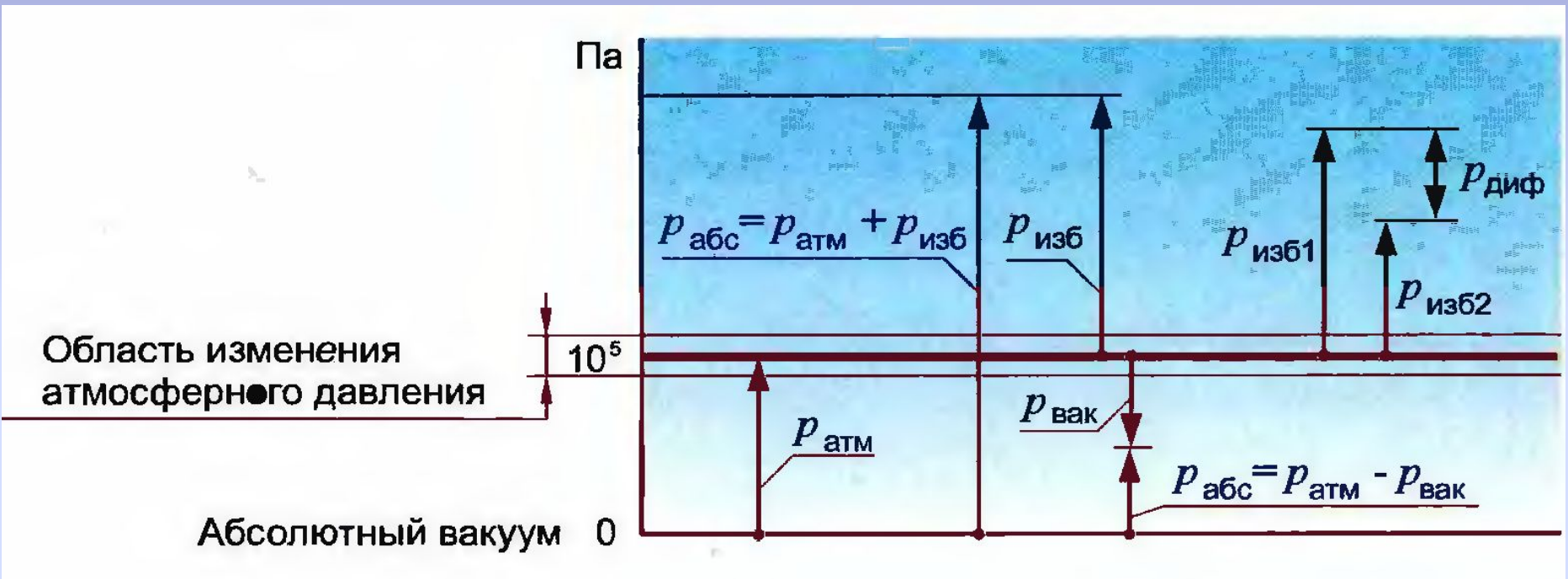
$$\frac{F}{A} = p$$

Делят: Силы внешние и внутренние.
Объемные (массовые) и
поверхностные.

Соотношения между различными единицами давления

| Единица | Па | кПа | МПа | кгс/см ² | бар | физ. атм. | мм вод. ст. | мм рт. ст. | psi |
|-----------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|--------------------------|
| 1 Па | 1 | 10 ⁻³ | 10 ⁻⁶ | 1,0197·10 ⁻⁵ | 10 ⁻⁵ | 9,8692·10 ⁻⁶ | 0,101972 | 7,5006·10 ⁻³ | 1,45037·10 ⁻⁴ |
| 1 кПа | 10 ³ | 1 | 10 ⁻³ | 1,0197·10 ⁻² | 10 ⁻² | 9,8692·10 ⁻³ | 101,972 | 7,5006 | 0,145037 |
| 1 МПа | 10 ⁶ | 10 ³ | 1 | 10,1972 | 10 | 9,86923 | 101971,6 | 7500,62 | 145,0377 |
| 1 кгс/см ² | 98066,5 | 98,0665 | 0,0980665 | 1 | 0,980665 | 0,967841 | 10 ⁴ | 735,56 | 14,22333 |
| 1 бар | 10 ⁵ | 100 | 0,1 | 1,0197 | 1 | 0,986923 | 10197,2 | 750,06 | 14,50377 |
| 1 физ. атм. | 1,01325·10 ⁵ | 1,01325·10 ² | 0,101325 | 1,03323 | 1,01325 | 1 | 1,033·10 ⁴ | 760 | 14,69594 |
| 1 мм вод. ст. | 9,80665 | 9,80665·10 ⁻³ | 9,80665·10 ⁻⁶ | 10 ⁻⁴ | 9,8067·10 ⁻⁵ | 9,6784·10 ⁻⁵ | 1 | 7,356·10 ⁻² | 1,4223·10 ⁻³ |
| 1 мм рт. ст. | 133,322 | 0,133322 | 1,33322·10 ⁻⁴ | 1,3595·10 ⁻³ | 1,3332·10 ⁻³ | 1,3158·10 ⁻³ | 13,5951 | 1 | 1,9337·10 ⁻³ |
| 1 psi | 6894,76 | 6,89476 | 6,89476·10 ⁻³ | 7,0307·10 ⁻² | 6,89476·10 ⁻² | 6,8046·10 ⁻² | 703,07 | 51,7151 | 1 |

Системы отсчета давления



Диапазон давлений

- Диапазон давлений, измеряемых в технике, составляет 17 порядков: от 10^{-8} Па — в электровакуумном оборудовании до 10^3 МПа — при обработке металлов давлением.
- Для прямого измерения избыточного давления с отображением его значения непосредственно на шкале, табло или индикаторе первичного измерительного прибора применяются манометры (ГОСТ 8.271-77). За нулевую точку шкалы манометров принимают атмосферное давление.

Свойства жидкостей

- Плотность (ρ) – масса жидкости в единице объема

$$\rho = \frac{m}{V} \left[\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right]$$

- где m – масса жидкости;
- V – объем этой массы

Удельный вес

- **Удельным весом (γ)** – называют вес жидкости в единице объема

$$\gamma = \frac{G}{V} \left[\frac{H}{M^3} \right]$$

- где G – вес, рассматриваемого объема жидкости.

ρ и γ для некоторых жидкостей при
температуре $t=20^\circ\text{C}$

| Жидкость | , кг/м^3 | , Н/м^3 |
|----------------------|-------------------|------------------|
| Вода пресная | 998 | 9790 |
| Вода морская | 1002-1029 | 10010-10090 |
| Бензин | 739-751 | 7250-7370 |
| Масло минеральное | 877-892 | 8000-8750 |
| Нефть | 850-950 | 8340-9320 |
| Ртуть | 13547 | 132900 |

Сжимаемость

- Сжимаемость жидкости – это ее свойство изменять объем под действием давления.
- Сжимаемость характеризуется коэффициентом объемного сжатия β_p , который представляет собой относительное изменение объема, приходящееся на единицу давления.

$$\beta_p = -\frac{1}{V} \cdot \frac{dV}{dp}$$

$$(\beta_p = -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{d\rho}{dp})$$

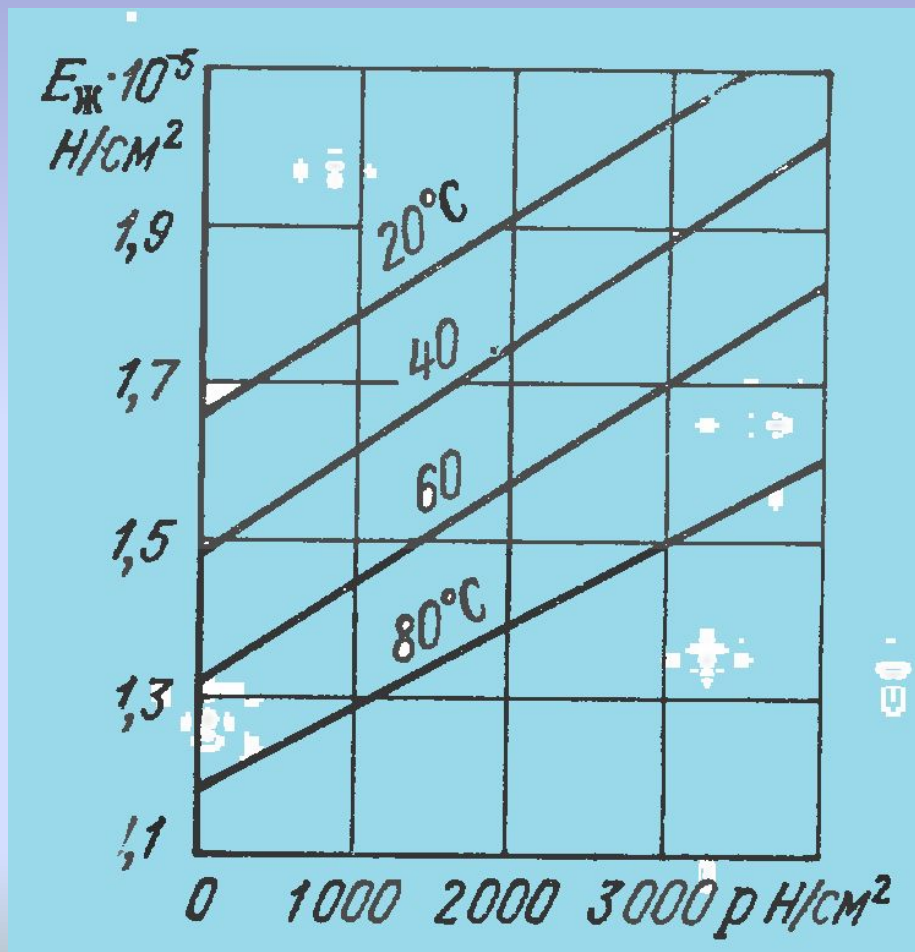
или

- где dp – изменение давления.

Объёмный модуль упругости

- Упругость – свойство тел восстанавливать свой объем после прекращения действия внешних сил.
- Упругость характеризуется модулем объемной упругости E_0 , величина которого обратная коэффициенту объемного сжатия
$$E_0 = \frac{1}{\beta_p}$$

Изменение E с ростом давления для масла АМГ-10



Как найти?

- Для экспериментального определения динамического модуля объемной упругости применяется акустический метод, основанный на замере скорости распространения звуковых волн в жидкости. При этом адиабатический модуль объемной упругости рассчитывается как произведение плотности жидкости на квадрат скорости звука $E_a = \rho \cdot a^2$

- С увеличением давления на dp плотность жидкости увеличивается и принимает значение $\rho = \rho_0 + d\rho$

- Так как масса жидкости $M = V\rho$, то

$$d\rho/\rho_0 = dV/V_0 \text{ поэтому}$$

$$E_a = \rho_0 \cdot dp/d\rho,$$

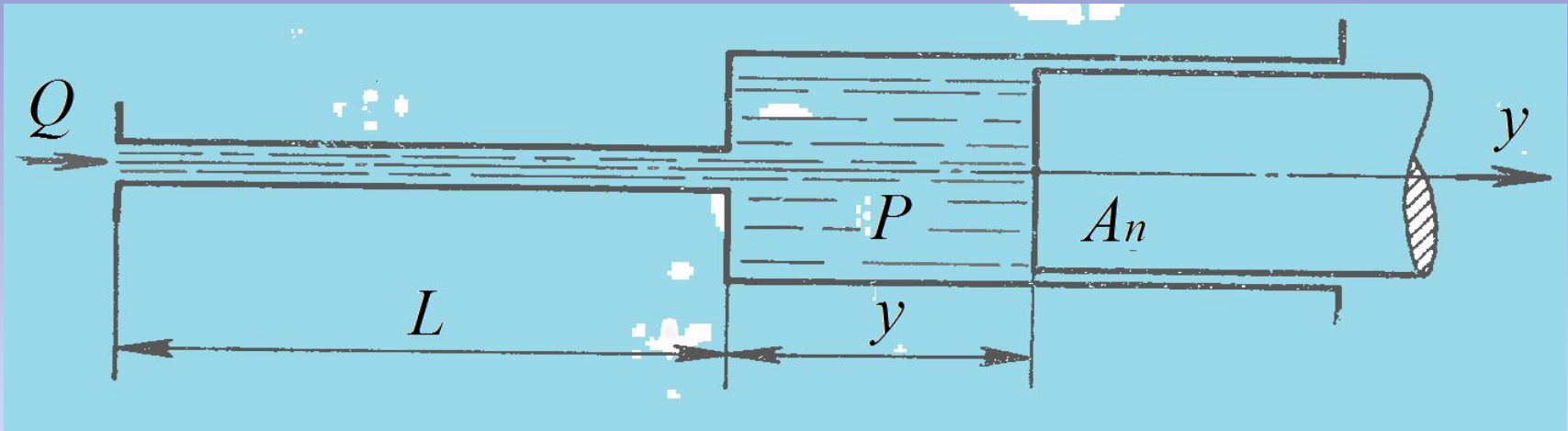
- **а зависимость плотности жидкости от ее модуля объемной упругости и изменения давления выражается формулой**

$$\rho = \rho_0 + \rho_0 \cdot dp/E_a$$

Модуль объемной упругости смеси масла и воздуха

$$E_{см} \approx E_{ж} \frac{1 - \frac{\rho - \rho_0}{E_0 + \frac{1}{2} A \rho} + \frac{V_{0в}}{V_{0ж}} \left(\frac{\rho_0}{\rho} \right)^{\frac{1}{n}}}{1 - \frac{\rho - \rho_0}{E_0 + \frac{1}{2} A \rho} + \frac{V_{0в}}{V_{0ж}} \left(\frac{\rho_0}{\rho} \right)^{\frac{1}{n}} \frac{E_{ж}}{n \rho}}$$

Уравнение расхода, учетом сжимаемости жидкости



- Изменение давления сжимаемой жидкости - вызывает изменение ее плотности и объема. Если этот процесс происходит в замкнутых объемах, например в камерах гидроцилиндра, то с течением времени емкость камер в результате сжатия жидкости изменяется.

- Расход G массы жидкости в единицу времени $G = dm/dt$
- Зная, что $m = \rho V$, запишем массовый расход в таком виде:

$$dm/dt = \rho \cdot dV/dt + V \cdot d\rho/dt \quad *$$

Учитывая условие неразрывности потока жидкости $-dV/V = d\rho/\rho$ и зная, что $dV/V = dp/E_{ж}$,

Получим $d\rho = \rho/E_{ж} \cdot dp$ или $d\rho/dt = \rho/E_{ж} \cdot dp/dt$



$$Q = dV/dt + V/E_{ж} \cdot dp/dt$$

$$\rho = \rho_0 (1 + p/E_{ж})$$

- В диапазоне изменения давления жидкости от 0 до 1500 Н/см^2 и при $E_{\text{ж}} = 1,5 \cdot 10^5 \text{ Н/см}^2$ $p=1,01p_0$, что доказывает незначительное изменение плотности жидкости в рабочих процессах гидропривода. Для силового цилиндра с упругим трубопроводом объем жидкости в одной из камер определяется по формуле

$$V = V_{\text{Труб}} + \gamma A_n,$$

где $V_{\text{Труб}} = LA_{\text{Труб}} + k_{\text{труб}} p$

объем упругого трубопровода;

$A_{\text{труб}}$ — площадь поперечного сечения трубопровода при $p=0$;

$k_{\text{труб}}$ — коэффициент упругости трубопровода;

- Изменение объема жидкости в силовом цилиндре с упругим трубопроводом

$$dV/dt = k_{\text{труб}} dp/dt + A_{\text{п}} dy/dt;$$

- С учетом последней формулы уравнение расхода приобретет вид

$$Q = A_{\text{п}} \cdot dy/dt + (k_{\text{труб}} + V/E_{\text{ж}}) dp/dt;$$

где V — объем жидкости.

- Эта формула характеризует требуемый расход жидкости в одной полости гидравлического цилиндра, обусловленный движением поршня, сжимаемостью жидкости и упругостью трубопровода.

Задача

- Плотность морской воды на поверхности моря составляет 1028 кг/м^3 . Определить плотность воды на глубине, где давление $p=100 \text{ МПа}$ приняв модуль объёмной упругости $E=2380 \text{ МПа}$.

$$p := \rho \cdot g \cdot H$$

- Избыточное давление, согласно уравнения гидростатики, будет определяться только весом столба жидкости высотой H

$$\frac{\Delta V}{V} = -\frac{\Delta p}{E}$$

$$\Delta V := \frac{-V \cdot p}{E}$$

- плотность жидкости при этом будет определяться делением массы содержащейся в одном кубическом метре при атмосферном давлении к действительному объему (после сжатия)

$$\rho_{\text{eff}} := \frac{\rho}{V + \Delta V}$$

Значения коэффициентов объемного сжатия β_p и модуля объемной упругости E_0 для некоторых жидкостей

| Жидкость | β_p , 1/кПа | E_0 , МПа |
|----------|-------------------|-------------|
| Вода | 0,0000051 | 1960 |
| Керосин | 0,0000059 | 1690 |
| Нефть | 0,0000074 | 1350 |
| Ртуть | 0,000000313 | 32000 |

При повышении давления на 0,1 МПа объем воды уменьшается на 1/20000.

Температурное расширение

- Температурные расширения характеризуются коэффициентом температурного расширения β_T , который представляет собой относительное изменение объема жидкости при изменении температуры на 1°C , т.е.

$$\beta_T = \frac{1}{V} \cdot \frac{dV}{dT}$$

Задача

- Пять литров нефти весят 41,65 Н при температуре 20 °С. Определить плотность нефти при 100°С, если температурный коэффициент объемного расширения β_t равен 0,0007 град⁻¹.

Силы поверхностного натяжения

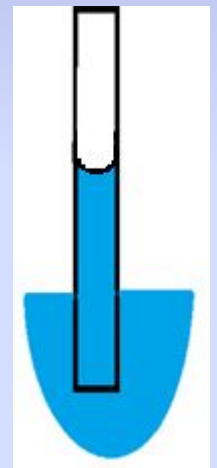
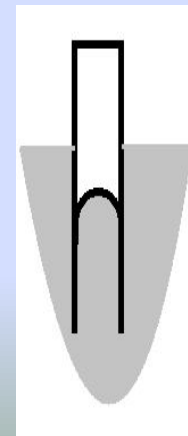
- Действуют на поверхности раздела двух сред;
- Стремятся придать объему жидкости сферическую форму;
- Вызывают при этом некоторое дополнительное внутреннее давление

$$p = \frac{2\delta}{r}$$

Капиллярный эффект

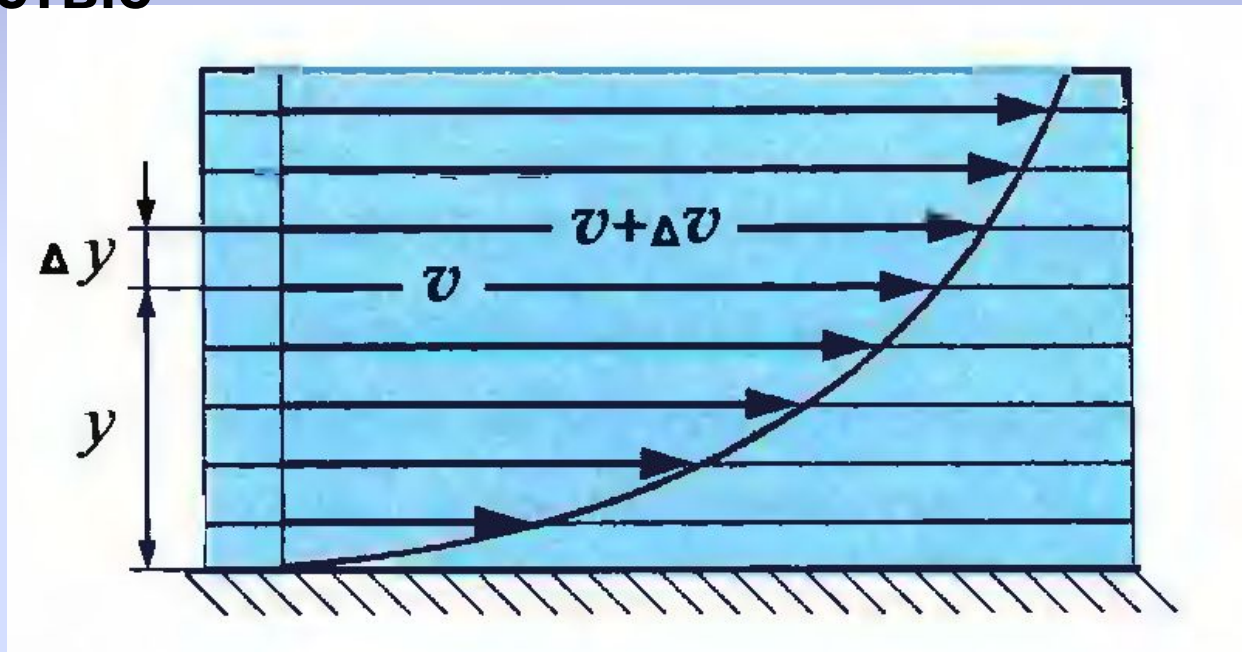
- В трубках малого диаметра поверхностное натяжение вызывает подъем (или опускания) жидкости относительно нормального уровня $h = 30 / d[\text{мм}]$
- Высота опускания для ртути

$$h = 10 / d[\text{мм}]$$



Вязкость

Свойство жидкостей оказывать сопротивление сдвигу (скольжению) слоев жидкости называют **вязкостью**



Профиль скоростей при течении вязкой жидкости
вдоль стенки

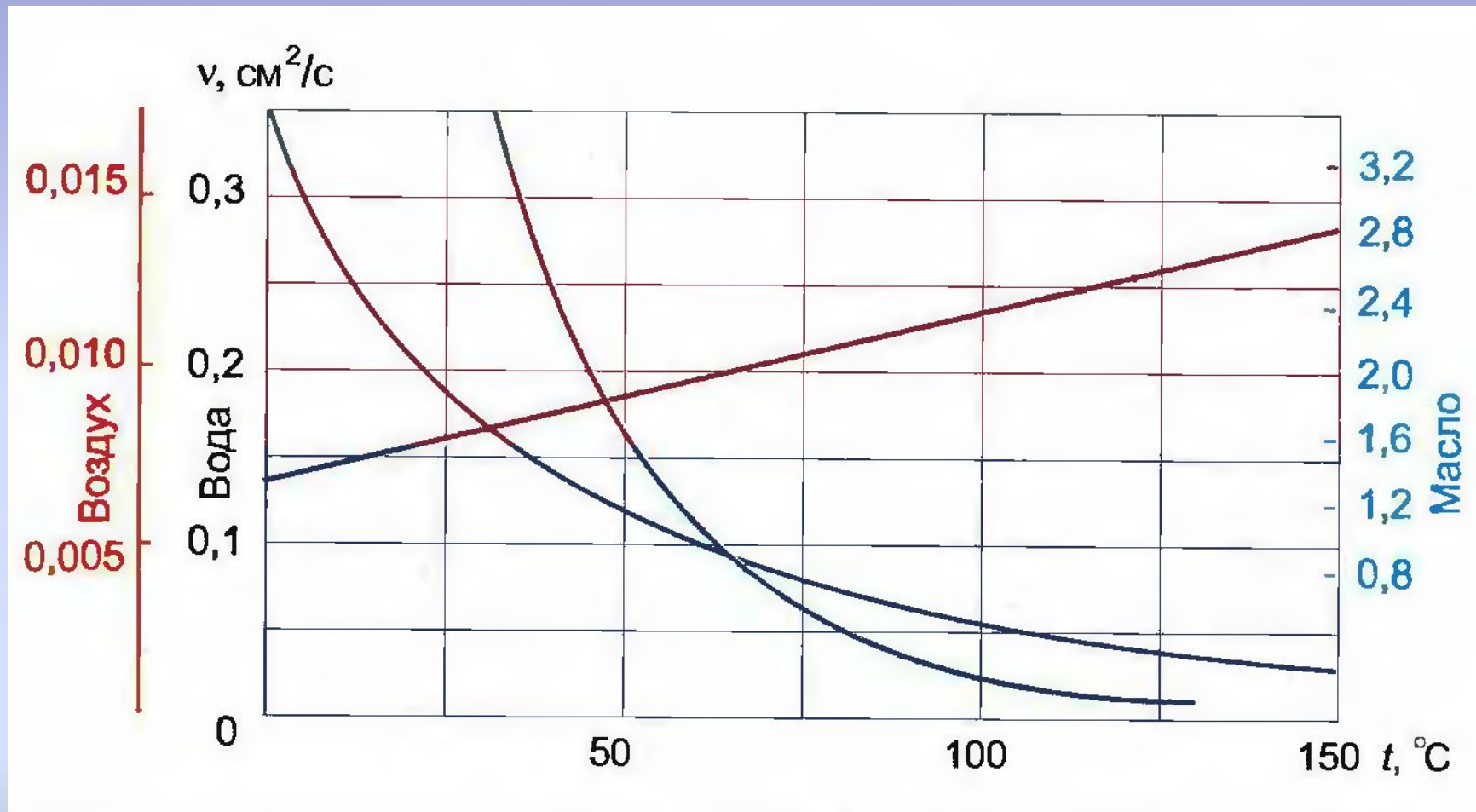
Коэффициенты вязкости

- 🙌 Величина касательных напряжений τ [Па] зависит от рода жидкости и характера ее течения, и при слоистом течении определяется следующим соотношением:

$$\tau = \pm \mu \left(\frac{dv}{dy} \right)$$

- где μ — коэффициент пропорциональности, называемый коэффициентом динамической вязкости; dv — приращение скорости, м/с; dy — приращение координаты, м.
Вязкость может быть охарактеризована и коэффициентом кинематической вязкости ν

Зависимость вязкости от температуры



Зависимость вязкости от

Давления

$$\mu_p := \mu_0 (1 + \varepsilon \frac{p}{p_0})$$

$$\mu_p := \mu_0 \left(1 + \varepsilon \frac{\Delta p}{p_0} \right)$$

$$\varepsilon = 0.003$$

$$\Delta p = p - p_0$$

μ_0 = вязкость при атмосферном давлении

Задача

Определить вязкость масла при изменении давления на 500 Н/см^2

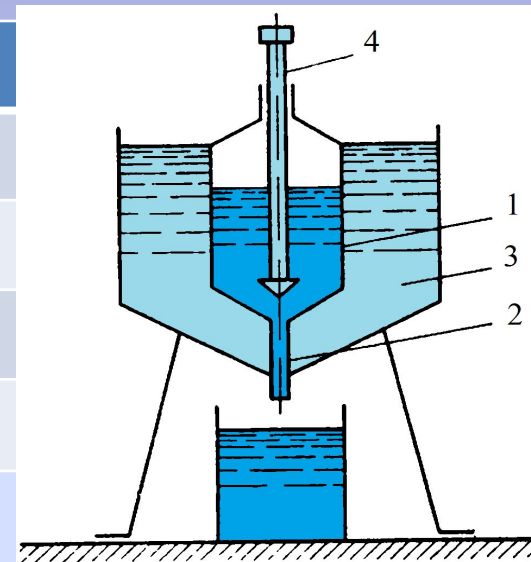
Известно, что вязкость масла АМГ-10 при атмосферном давлении равна 20 сСт

- Вязкость определяет важнейшие характеристики гидравлического привода. Вязкость обуславливает смазку деталей, а следовательно, долговечность и надежность работы насосов и гидродвигателей.
- От вязкости зависят демпфирующие свойства, характеристики расхода и коэффициенты полезного действия золотников, насосов, гидродвигателей и гидромагистралей.
- Изменение вязкости с изменением температуры вызывает изменение статических, энергетических и динамических характеристик гидравлической системы.

Определение вязкости

Вискозиметр Энглера

| Жидкость | t °С | μ, П | ν, Ст |
|----------|------|---------|---------|
| Вода | 20 | 0,01004 | 0,01006 |
| Бензин | 15 | 0,0065 | 0,0093 |
| Керосин | 15 | 0,0217 | 0,027 |
| Ртуть | 15 | 0,0154 | 0,0011 |



Пересчет градусов Энглера,
формула Убеллоде

$$\nu = 0,073^{\circ E} - \frac{0,063}{^{\circ E}}$$

$$\mu = 0,00065^{\circ E}$$

- 1 – цилиндрическая емкость
- 2 – калиброванная трубка
- 3 – водяная ванна
- 4 – стержневой затвор

Задача

- Вязкость нефти, определенная по вискозиметру Энглера, составляет $8,5^{\circ}\text{E}$. Определить динамическую вязкость нефти, если ее плотность $\rho = 850 \text{ кг/м}^3$.

Решение.

- Находим кинематическую вязкость по формуле Убеллоде;
- $\nu = (0,0731 \cdot 8,5 - 0,0631/8,5) \cdot 10^{-4} =$
 $= 6,14 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с};$
- находим динамическую вязкость нефти;
- $\mu = 0,614 \cdot 10^{-4} \cdot 850 = 0,052 \text{ Па} \cdot \text{с}.$

Облитерация

- Облитерация—это свойство жидкости заращивать узкие каналы и капиллярные щели при ее течении под действием перепада давлений.
- Облитерация вызывает уменьшение геометрического поперечного сечения капиллярной щели.
- Опыт показывает, что вследствие облитерации течение жидкости через дросселирующие щели золотников и отверстия небольшого диаметра сопровождается постепенным уменьшением расхода. Вначале уменьшение расхода происходит интенсивно, а затем этот процесс замедляется. Установлено, что интенсивность изменения расхода не зависит от вязкости жидкости.

К чему приводит?

- В результате «облитерационного залипания золотника» резко уменьшается чувствительность, увеличивается запаздывание и ухудшается динамика гидравлического привода. После трогания золотника усилие, необходимое для его перемещения резко уменьшается вследствие разрушения граничного связующего слоя.

Как бороться?

- Одни из методов борьбы с облитерацией является сообщение золотнику угловых или осевых осциллирующих движений (вибраций) с большой частотой и малой (в несколько микрон) амплитудой.

Испаряемость

- 🙌 Испаряемость свойственна всем капельным жидкостям, однако ее интенсивность зависит от свойств конкретной жидкости, а также условий, в которых она находится.
- 📖 В гидросистемах жидкости обычно находятся под избыточным давлением, поэтому испаряемость характеризуют *давлением насыщенных паров, т.е. давлением, при котором данная жидкость, имеющая некую температуру, закипает.*

Растворимость газов в жидкостях

- **Все жидкости обладают способностью растворять газы.**
- **Количество растворенного газа, например воздуха, в единице объема жидкости увеличивается с увеличением давления и температуры.**

Образование пены

- 🙌 При эксплуатации гидросистем может образоваться пена, которая состоит из пузырьков воздуха различного размера.
- 📖 Пена понижает смазывающую способность масла, а также вызывает коррозию деталей гидравлических агрегатов и окисление масла.

Сопротивление растяжению

- Согласно молекулярной теории сопротивление растяжению внутри жидкости может быть весьма значительным — теоретическая прочность воды на разрыв равна $1,5 \cdot 10^8$ Па.
- Реальные жидкости менее прочны. Максимальная прочность на разрыв тщательно очищенной воды, достигнутая при растяжении воды при 10°C , составляет $2,8 \cdot 10^7$ Па, а технически чистые жидкости не выдерживают даже незначительных напряжений растяжения

Появление
кавитации



Теплопроводность и

теплоемкость

- Для поглощения, отвода и последующего рассеивания теплоты, выделяющейся при работе гидросистемы, необходимо, чтобы рабочие жидкости обладали высокими показателями теплопроводности и теплоемкости.
- 🙌 **Теплопроводность** — свойство материала передавать теплоту через свою толщину от одной поверхности к другой, если эти поверхности имеют разную температуру. Численной характеристикой теплопроводности материала является **коэффициент теплопроводности λ_t** .

$$\lambda_t = a(1 + 0,012 \cdot t)$$

$$\lambda_t = 0,136 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{С})$$

Теплоемкость

- **Теплоемкость** — свойство материала при нагревании поглощать теплоту, а при охлаждении - отдавать ее. Показателем теплоемкости служит *удельная теплоемкость* **c** (количество теплоты, необходимое для повышения температуры единицы массы на 1 °С).


$$c = Q_T / (m \cdot \Delta T)$$

- Для минеральных масел $c = 1,88...2,1$ кДж/(кг·°С).

Температура застывания

- **Температурой застыывания** называется температура, при которой масло густеет настолько, что при наклоне пробирки на угол 45 град. его уровень в течение 1 мин остается неизменным.
- Эта характеристика существенна для работы гидросистем в условиях низких (ниже 260 К) температур.
- Температура эксплуатации гидроприводов должна быть на 15 – 18 градусов выше температуры застывания.

Температура вспышки

-  **Температурой вспышки** называется температура, при которой пары масла, нагретого в оговоренных стандартами условиях, образуют с окружающим воздухом смесь, вспыхивающую при поднесении к ней пламени.
- Эта характеристика существенна при работе гидросистем в условиях повышенных температур (металлургические, термические и кузнечные производства и т.п.).

Смазывающие свойства

- 🙌 Смазывающие свойства рабочей жидкости определяются прочностью масляной пленки и ее способностью противостоять разрыву.
- 📌 Как правило, чем больше вязкость, тем выше прочность масляной пленки.

Классы чистоты жидкости

- 🙌 ГОСТ 17216—71 устанавливает 19 классов чистоты жидкостей, которые отличаются друг от друга количеством и размерами находящихся в жидкости частиц загрязнения.
- 📌 При этом наличие в жидкости частиц размером более 200 мкм (не считая волокон) не допускается.

Задача

- Автоклав объемом $V_0=10\text{л}$ наполнен водой и закрыт герметически. Определить, пренебрегая изменением объема автоклава, повышение давления в нем при увеличении температуры воды на величину $\Delta T=40^\circ\text{C}$, если температурный коэффициент объемного расширения воды $\beta_t = 0.00018\text{ 1/град}$, а коэффициент объемного сжатия

$$\beta_p = 4,19 \cdot 10^{-10} \text{ м}^2/\text{Н}.$$

Решение:

Из предыдущего

имеем

$$\beta_p = -\frac{1}{V} \cdot \frac{\Delta V}{\Delta p}$$

$$\beta_T = \frac{1}{V} \cdot \frac{\Delta V}{\Delta T}$$

Из этих выражений найдем приращение давления Δp

$$\Delta p = \frac{\Delta T \cdot \beta_T}{\beta_p}$$

Подставляя значения,

получим

$$\Delta p = \frac{40 \cdot 0,00018}{4,19 \cdot 10^{-10}} = 1,718 \cdot 10^7 \text{ Па}$$

Задача

- Компрессор забирает воздух из атмосферы объемом $1000 \text{ м}^3/\text{час}$ и на выходе выдает сжатый воздух объемом $100 \text{ м}^3/\text{час}$.
- Какое давление на выходе покажет манометр?

Рабочая жидкость

- В гидроприводе рабочая жидкость является энергоносителем, благодаря которому устанавливается связь между насосом и гидродвигателем. Рабочая жидкость обеспечивает смазывание трущихся поверхностей деталей, отводит тепло, удаляет продукты износа, защищает детали от коррозии.
- Условия эксплуатации:
- температура -60...+900С;
- скорость жидкости при дросселировании до 50м/с;
- давление 32МПа и более

Требования к рабочим жидкостям гидроприводов

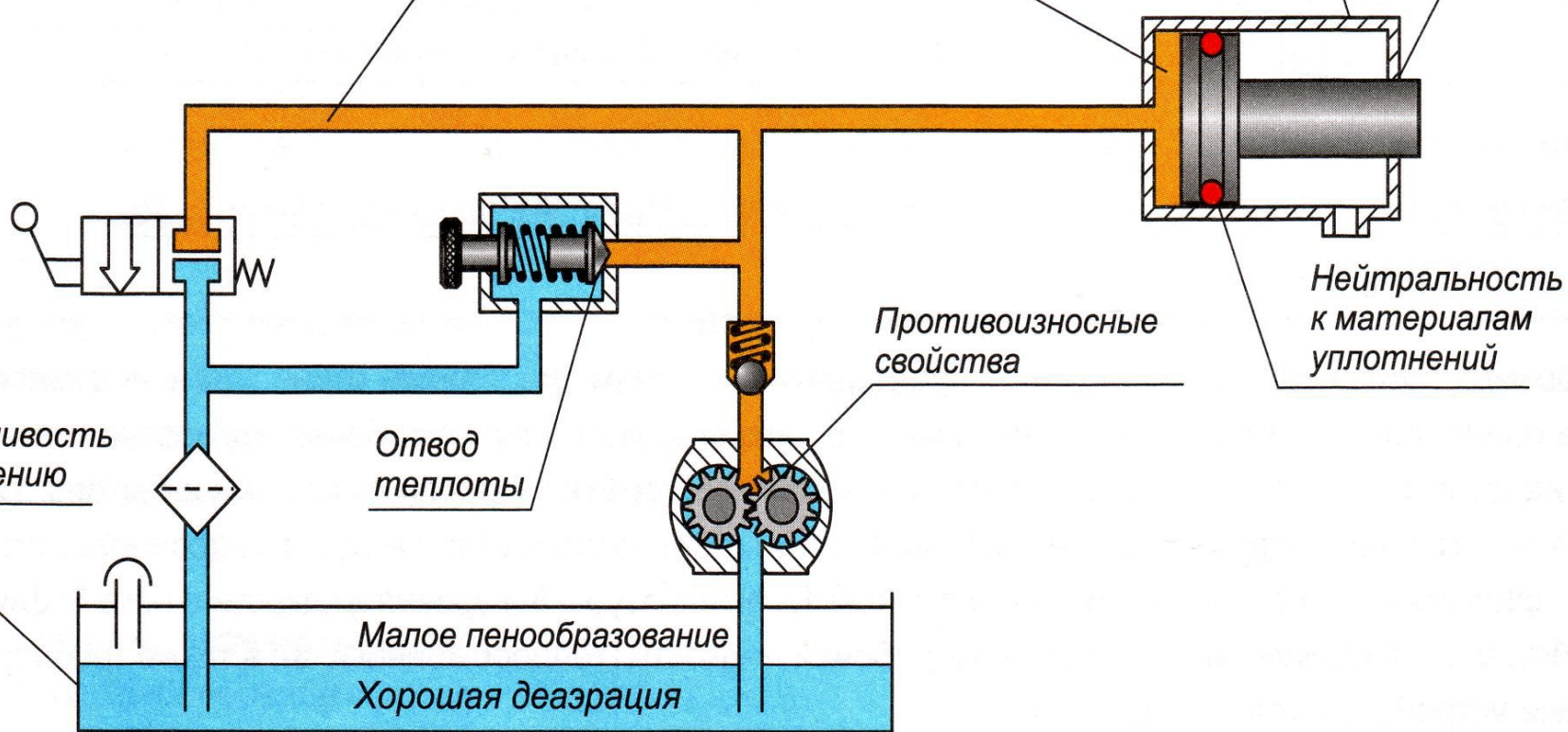
Экологическая чистота

Вынос частиц износа

Защита от коррозии

Пожаробезопасность

Смазывающие свойства



Рабочие жидкости

В качестве рабочих жидкостей в гидравлическом приводе применяют

- Минеральные масла
- Водомасляные эмульсии
- Смеси
- Синтетические жидкости.

Выбор типа и марки рабочей жидкости определяется назначением и условиями эксплуатации гидроприводов машин

Минеральные масла

- Получают в результате переработки нефти с введением в них присадок, улучшающих их физические свойства. Присадки добавляют в количестве 0,05...10%.
- Наиболее часто применяют масло гидравлическое единое МГЕ-10А, авиационное гидравлическое масло АМГ-10, всесезонное гидравлическое масло ВМГЗ

Водомасляные эмульсии

- Представляют собой смеси воды и минерального масла в соотношениях 100:1, 50:1 и т. д.
- Минеральные масла в эмульсиях служат для уменьшения коррозионного воздействия рабочей жидкости и увеличения смазывающей способности.
- Эмульсии применяют в гидросистемах машин, работающих в пожароопасных условиях и в машинах, где требуется большое количество рабочей жидкости (например, в гидравлических прессах).

- Смеси различных сортов минеральных масел между собой, с керосином, глицерином и т.д.
- Применяют в гидросистемах высокой точности, а также в гидросистемах, работающих в условиях низких температур.
- Синтетические жидкости на основе силиконов, хлор - и фторуглеродистых соединений, полифеноловых эфиров.

Обозначения марок рабочих жидкостей

- В настоящее время действуют различные системы обозначения марок рабочих жидкостей. Для рабочих жидкостей общего назначения принято название "индустриальные« с указанием вязкости в сСт при $t=50^{\circ}\text{C}$.
- Кроме того, существуют еще отраслевые системы обозначений.
- Например, рабочая жидкость для станочных гидроприводов - ИГИДРОПРИВОД.
- Для гидропривода транспортных установок - МГ, МГЕ.
- Для авиационных гидроприводов - АМГ.

Обозначение марок по международному стандарту

- Международным стандартом MS ISO 6443/4 устанавливается классификация группы H (гидравлические системы), которая относится к классу L (смазочные материалы , промышленные масла и родственные продукты).
- Каждая категория продуктов группы H обозначена символом , состоящим из нескольких букв, например, ИСО -L -HV или сокращенно L -HV.
- Символ может быть дополнен числом, соответствующим показателю вязкости по MS ISO 3448.

ПРИМЕР ОБОЗНАЧЕНИЯ

- L-НН -очищенные минеральные масла без присадок
- L-НL –масла с антиокислительными и антифрикционными свойствами
- L-НF-жидкость с улучшенными огнестойкими свойствами
- L-НR-масла типа НL с вязкостными присадками
- L-НМ-масла типа НL с улучшенными противоизносными свойствами
- L-НV-масла типа НМ с присадками, увеличивающими вязкость

Отечественные обозначения марок масел

- В России действует группа стандартов ГОСТ 17479.0-85...ГОСТ17479.4-87, по которым проводится маркировка рабочих жидкостей на нефтяной основе

Класс кинематической вязкости

(в зависимости от интервала кинематической вязкости (мм²/с (сСт)) при температуре 40 °С)

| | | | |
|------------------------|-------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 2 - 1,9 - 2,5 | 15 - 13,0 - 17,0 | 100 - 90,0 - 110,0 | 680 - 612 - 748 |
| 3 - 3,0 - 3,5 | 22 - 19,0 - 25,0 | 150 - 135 - 165 | 1000 - 900 - 1100 |
| 5 - 4,0 - 5,0 | 32 - 29,0 - 35,0 | 220 - 198 - 242 | 1500 - 1350 - 1650 |
| 7 - 6,0 - 8,0 | 46 - 41,0 - 51,0 | 320 - 288 - 352 | |
| 10 - 9,0 - 11,0 | 68 - 61,0 - 75,0 | 460 - 414 - 506 | |

Принадлежность к подгруппе по эксплуатационным свойствам

А – минеральные масла без присадок для машин и механизмов промышленного оборудования, условия, работы которых не предъявляют особых требований к антиокислительным и антикоррозионным свойствам масел.

В – минеральные масла с *антиокислительным и антикоррозионными присадками* для машин и механизмов промышленного оборудования, условия, работы которых предъявляют повышенные требования к антиокислительным и антикоррозионным свойствам масел.

С – минеральные масла с *антиокислительным, антикоррозионными и противоизносными присадками* для машин и механизмов промышленного оборудования, содержащих антифрикционные сплавы цветных металлов, условия, работы которых предъявляют повышенные требования к антиокислительным, антикоррозионным и противоизносным свойствам масел.

Д – минеральные масла с *антиокислительным, антикоррозионными, противоизносными и противозадирными присадками* для машин и механизмов промышленного оборудования, условия, работы которых предъявляют повышенные требования к антиокислительным, антикоррозионным, противоизносным и противозадирным свойствам масел.

Е – минеральные масла с *антиокислительным, антикоррозионными, противоизносными, противозадирными и противоскачковыми присадками* для машин и механизмов промышленного оборудования, условия, работы которых предъявляют повышенные требования к антиокислительным, антикоррозионным, противоизносным, противозадирным и противоскачковым свойствам масел.

Принадлежность к группе по назначению

Л – легко нагруженные узлы (шпиндели, подшипники и сопряженные с ними соединения);

Г – гидравлические системы;

Н – направляющие скольжения;

Т – тяжело нагруженные узлы (зубчатые передачи).

Обозначение масла

И – промышленное.

| Существующее обозначение | Обозначение по ГОСТ | Обозначение по ISO |
|--------------------------|---------------------|--------------------|
| И-12А | И-ЛГ-А -15 | L-НН-15 |
| И-20А | И-Г-А-32 | L-НН-32 |
| И-30А | И-Г-А-46 | L-НН-46 |
| И-40А | И-Г-А-68 | L-НН-68 |
| И-50А | И-Г-А-100 | L-НН-100 |
| ИГИДРОПРИВОД-18 | И-Г-С-32 | L-НМ-32 |
| ИГИДРОПРИВОД-30 | И-Г-С-46 | L-НМ-46 |
| ИГИДРОПРИВОД-38 | И-Г-С-68 | L-НМ-68 |
| ИГИДРОПРИВОД-49 | И-Г-С-100 | L-НМ-100 |
| ЛЗ-МГ-2 | МГ-5-Б | L-НМ-5 |
| РМ | МГ-7-Б | L-НМ-7 |
| МГЕ-4А | МГ-5-Б | L-НЛ-5 |
| МГЕ-10А | МГ-15-В | L-НМ-15 |
| ВМГЗ | МГ-15-В(с) | L-НV-15 |
| АМГ-10 | МГ-15-Б | L-НМ-15 |
| АУ | МГ-22-А | L-НН-22 |
| АУП | МГ-22-Б | L-НМ-22 |
| Р | МГ-22-В | L-НR-22 |
| ЭШ | МГ-32-А | L-НЛ-32 |
| МГ-30 | МГ-46-Б | L-НМ-46 |
| МГЕ-46В | МГ-46-В | L-НR-46 |

Выбор рабочих жидкостей

- Выбор рабочих жидкостей определяется:
 1. -диапазоном рабочих температур;
 2. -давлением в гидросистеме;
 3. -скоростями движения исполнительных механизмов;
 4. -конструкционными материалами и материалами уплотнений;
 5. -особенностями эксплуатации машины (на открытом воздухе или в помещении, условиями хранения машины, возможностями засорения и т.д.).

Выбор рабочих жидкостей

- Рабочее давление в гидросистеме и скорость движения исполнительного механизма являются важными показателями, определяющими выбор рабочей жидкости.

Допустимые значения температуры и вязкости рабочих жидкостей, применяемых в отдельных компонентах гидропривода

| Компоненты | Допустимая температура рабочей жидкости °С | Допустимая вязкость рабочей жидкости, сСТ |
|--|--|---|
| Шестеренный насос | от -15 до +80 | от 10 до 300 |
| Пластинчатый насос (регулируемый) | от -10 до +70 | от 16 до 160 |
| Аксиально-поршневой насос (регулируемый) | от -25 до +90 | от 10 до 1000 |

Эксплуатационные особенности рабочих жидкостей

При эксплуатации гидросистем необходимо создавать такие условия, при которых рабочая жидкость по возможности дольше сохраняла бы свои первоначальные свойства.

- фильтровать жидкость перед ее заливкой;
- герметично закрывать резервуары, содержащие рабочую жидкость.
- При работе гидропривода в широком диапазоне температур рекомендуется применять летние и зимние сорта рабочих жидкостей.

- В мировой практике наибольшее распространение получили рабочие жидкости производимые «SHELL», «MOBIL», BP, «ESSO», «CASTROL», «SAE MOTOR OIL»