

Федеральное агентство по образованию РФ
Государственное образовательное учреждение высшего
профессионального образования
Красноярский государственный технический университет

Е.А. Бойко

ОСНОВЫ ГИДРАВЛИКИ

(учебное пособие)

Красноярск 2005

Содержание

1. Учебная цель	
2. Концепция и основные термины.....	
3. Содержание учебного элемента	
3.1. Общие положения.....	
3.2. Физические свойства жидкостей и газов	
3.3. Основы гидростатики.....	
3.3.1. Гидростатическое давление и его свойства	
3.3.2. Основное уравнение гидростатики	
3.3.3. Закон Паскаля	
3.3.4. Давление жидкости на плоские стенки	
3.3.5. Давление жидкости на криволинейные стенки	
3.4. Основные понятия гидродинамики и виды	
движения жидкости	
3.5. Гидравлическое сопротивление	
3.5.1. Виды гидравлических сопротивлений.....	
3.5.2. Режимы движения жидкости.....	
4. Резюме	
5. Контрольные вопросы.....	
6. Литература.....	

1. УЧЕБНАЯ ЦЕЛЬ

Изучив данный материал, машинист паровых котлов ознакомится с основами гидравлики.

2. КОНЦЕПЦИЯ И ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ

Гидравлика – наука, изучающая законы равновесия и движения жидкостей и разрабатывающая методы их применения для решения практических задач.

Аэродинамика – наука, изучающая движение газообразных тел, а также взаимодействие их с твёрдыми телами и поверхностями

Жидкость – физическое тело, которое легко изменяет свою форму под действием самых незначительных сил.

Удельный вес жидкости – вес единицы её объёма.

Плотность – масса жидкости, заключённая в единицы объёма, или отношение массы жидкости к её объёму.

Удельный объём – объём, занимаемый единицей массы жидкости.

Вязкость – свойство жидкости оказывать сопротивление относительному движению (сдвигу) частиц жидкости.

Гидростатика – раздел гидравлики, изучающий законы равновесия жидкостей.

Гидродинамика – раздел гидравлики, изучающий законы движения жидкости, а также взаимодействия между жидкостью и твёрдыми телами при их относительном движении.

Гидравлический удар - колебательный процесс, возникающий в трубопроводе с капелькой жидкостью при внезапном изменении скорости её движения.

3. СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО ЭЛЕМЕНТА

3.1. Общие положения

Гидравликой называется наука, изучающая законы равновесия и движения жидкостей и разрабатывающая методы их применения для решения практических задач.

Название «гидравлика» происходит от сочетания греческих слов «хюдор» – вода и «аулос» – труба, желоб и первоначально обозначало учение о движении воды по трубам. Такое трактование гидравлики имеет теперь лишь историческое значение, так как с развитием производства и техники область применения законов гидравлики существенно расширилась.

На законах гидравлики основан расчёт разнообразных гидротехнических сооружений (например, плотин, каналов, водосливов), трубопроводов для подачи различных жидкостей, гидромашин (насосов, гидротурбин, гидropередач), а также других гидравлических устройств, применяемых во многих областях техники.

Аэродинамикой называется наука, изучающая движение газообразных тел, а также взаимодействие их с твёрдыми телами и поверхностями.

Название «аэродинамика» происходит от сочетания греческих слов «аэр»- воздух и «динамос» – сила и первоначально обозначало учение о силовом взаимодействии воздушной среды с движущимся в ней телом.

На законах аэродинамики основаны расчёт летательных аппаратов, трубопроводов, транспортирующих различные газы (воздухопровод, газопровод, паропроводов), конструирование газовых машин (турбин, компрессоров, вентиляторов), проектирование котельных агрегатов, печей и сушильных установок, воздухо- и газоочистных аппаратов и пр.

Несмотря на различие физических свойств жидкостей и газов, связанное с большой сжимаемостью газов, многие законы их движения и равновесия при определённых условиях можно считать одинаковыми, поэтому гидравлику и аэродинамику в настоящее время рассматривают в качестве единой науки – механики жидкости, которая, опираясь на основные законы физики и теоретической механики, широко используют математический аппарат. Ввиду сложности явлений, наблюдаемых при движении жидкостей и газов, и необходимости доведения решений до стадии возможного их использования на практике гидравлика и аэродинамика часто прибегают также к экспериментам и, обобщая их результаты, создают эмпирические закономерности.

3.2. Физические свойства жидкостей и газов

Жидкостью называют тело, которое легко изменяет свою форму под действием самых незначительных сил. Оно обладает свойством текучести, т.е. большой подвижностью своих частиц, и поэтому принимают форму сосуда, в котором оно находится.

По механическим свойствам жидкости разделяют на два класса: **малосжимаемые (капельные) и сжимаемые (газообразные)**. Капельные жидкости отличаются тем, что в малых количествах принимают сферическую форму, а в больших обычно образуют свободную поверхность. Газы же способны к весьма значительному уменьшению своего объёма под действием давления и к неограниченному расширению при отсутствии давления, т.е. они, обладают большой сжимаемостью.

Таким образом, общими свойствами капельных жидкостей являются текучесть и весьма малая изменяемость объёма, а общими свойствами газов – текучесть и лёгкая изменяемость объёма при изменении давления и температуры.

Жидкости и газы характеризуются определёнными физическими свойствами, важнейшими из которых являются удельный вес, плотность, сжимаемость и вязкость.

Удельным весом жидкости (газа), обозначаемым греческой буквой g , называется вес единицы её объёма, т.е.:

$$g = G/V, \tag{1}$$

где G - вес жидкости; V – объём занимаемой ею.

Удельный вес – величина размерная и измеряется в системе СИ в ньютонах на кубический метр (Н/м^3).

Плотностью называется масса жидкости, заключённая в единице объёма, или отношение массы жидкости к её объёму. Плотность обозначается буквой ρ и определяется по формуле:

$$\rho = m/V, \quad (2)$$

где m – масса жидкости в объёме V .

Между плотностью и удельным весом существует связь, которую легко найти, если учесть, что между весом тела G , его массой m и ускорением свободного падения g имеется зависимость $G = m \cdot g$. В соответствии с этим:

$$\rho = m/V = G/gV = g/g, \quad (3)$$

Плотность в системе СИ измеряется в килограммах на кубический метр (кг/м^3).

В таблице 1 приведены удельный вес и плотность некоторых жидкостей при температуре $t = 20$ °С, а в табл. 2 – удельный вес и плотность некоторых газов при температуре $t = 15$ °С и давлении 0,1 МПа.

В производственных условиях удельный вес или плотность жидкости обычно определяют при помощи специального прибора, называемого ареометром.

Ареометр представляет собой удлинённую пустотелую стеклянную трубку (рис. 1), в узкой верхней части которой имеется шкала удельного веса и плотности жидкости, а в широкой нижней части - шкала температуры жидкости.

Ареометр



Рис.1.

Для измерения удельного веса жидкости ареометр погружают в сосуд с ней. Благодаря грузу, помещённому в нижней части ареометра (обычно ртуть или дробь), он плавает в вертикальном положении. Деление на ареометрической шкале, до которого погружается ареометр, соответствует значению удельного веса (плотности) жидкости.

Т а б л и ц а 1 – Значения удельного веса (γ) и плотности (ρ) некоторых жидкостей

Жидкость	Удельный вес γ , Н\м ³	Плотность ρ , кг\м ³
1.Ртуть	132 900	13 547
2.Вода:		
• морская	10 010 – 10 090	1002 – 1029
• пресная	9790	998,2
3.Масло минеральное	8600 – 8750	877 – 892
4.Нефть	8340 – 9320	850 – 950
5.Керосин	7770 – 8450	792 – 840
6.Спирт этиловый	7740	789,3
7.Бензин	7250 - 7370	739 - 751

Т а б л и ц а 2 – Значения удельного веса γ и плотности ρ некоторых газов

Газ	Удельный вес γ , Н\м ³	Плотность ρ , кг\м ³
1.Водород	0,81	0,08
2.Водяной пар	7,25	0,74
3.Окись углерода	11,3	1,15
4.Азот	11,3	1,15
5.Воздух	11,6	1,2
6.Кислород	12,8	1,3
7.Углекислота	17,6	1,8

Объём, занимаемый единицей массы жидкости, называется **удельным объёмом**:

$$v = V/m \quad (4)$$

Удельный объём представляет собой величину, обратную плотности, т.е.:

$$v = 1/\rho \quad (5)$$

Единица удельного объёма также обратная единице плотности, т.е. выражается в кубических метрах на килограмм ($\text{м}^3/\text{кг}$).

Плотность, удельный вес и удельный объём зависят от давления и температуры, причём эта зависимость существенно различна для капельных жидкостей и газов.

Сжимаемость капельных жидкостей под действием давления характеризуется **коэффициентом объёмной сжимаемости** b_v , который представляет собой относительное изменение объёма, приходящееся на единицу изменения давления:

$$b_v = \frac{V_1 - V_2}{V_1(p_1 - p_2)}, \quad (6)$$

где V_1 и V_2 – объёмы жидкости, соответственно, начальное и конечное; p_1 и p_2 – давления, соответственно, начальное и конечное.

Единица коэффициента объёмной сжимаемости обратна единице давления и в системе СИ выражается в Паскалях в минус первой степени (Па^{-1}).

Величина, обратная коэффициенту объёмной сжимаемости, называется **модулем упругости жидкости** и обозначается E_0 :

$$E_0 = 1/b_v \quad (7)$$

Изменение объёма жидкости в зависимости от изменения температуры характеризуется **температурным коэффициентом объёмного расширения** b_t , выражающим относительное изменение объёма жидкости при изменении её температуры на 1°C или 1 K :

$$b_t = \frac{V_2 - V_1}{V_1 \cdot (t_2 - t_1)}, \quad (8)$$

где V_1 и V_2 – объёмы жидкости, соответственно, начальный и конечный; t_2 и t_1 – температуры, соответственно, начальная и конечная.

Единица температурного коэффициента объёмного расширения выражается в градусах Цельсия в минус первой степени или в Кельвинах в минус первой степени ($^\circ\text{C}^{-1} = \text{K}^{-1}$).

Температурный коэффициент объёмного расширения капельных жидкостей ничтожно мал. Так, для воды при температуре от 10 до 20°C и давлении $0,1\text{ МПа}$ значение $\beta_t = 0,00015^\circ\text{C}^{-1}$. В связи с этим в практических расчётах температурное расширение жидкостей не учитывается.

Вследствие большой сжимаемости газов их плотность и удельный вес в значительной степени зависят от давления, а также от температуры. Процесс сжатия и расширения газов подчиняются известным из термодинамики зако-

нам **Бойля–Мариотта** и **Гей-Люссака** для идеальных газов. **Закон Бойля-Мариотта** выражается зависимостью:

$$p_1 V_1 = p_2 V_2 = \text{const}, \quad (9)$$

где V_1 и V_2 – объёмы газа при постоянной температуре, соответственно при p_1 и p_2 .

Закон Гей–Люссака устанавливает связь между объёмом и температурой газа при постоянном давлении и характеризуется уравнением:

$$V_1/V_2 = T_1/T_2 = \text{const}, \quad (10)$$

где T_1 и T_2 – абсолютные температуры, т.е. температуры, измеренные в Кельвинах (К).

Соотношение между абсолютной температурой T и температурой t , измеренной в градусах Цельсия ($^{\circ}\text{C}$):

$$T = t + 273,15 \quad (11)$$

Вязкостью называется свойство жидкости оказывать сопротивление относительному движению (сдвигу) частиц жидкости.

Для ознакомления с понятием вязкости жидкости рассмотрим случай движения жидкости параллельными слоями (рис. 2). Пусть скорость движения какого-нибудь слоя **A** равно **u**, а скорость движения соседнего слоя **B** больше на величину **Du**. Величина **Du** выражает собой абсолютный сдвиг слоя **B** по слою **A** за единицу времени. При скольжении этих слоёв жидкости друг по другу между ними возникает препятствующая сдвигу сила трения. Относя силу трения к единице площади трения, получим касательное напряжение или напряжение силы трения **t**. Отношение **Du** к расстоянию между слоями **A** и **B** **Dy** называется **относительным сдвигом**. Ньютон установил, что сила трения, приходящаяся на единицу площади, прямо пропорциональна относительному сдвигу, т.е.

$$t = mD \ u/Dy \quad (12)$$

Коэффициент пропорциональности m называется динамической или абсолютной вязкостью.

Единица динамической вязкости в системе СИ: $[\mu] = [\tau / \Delta u / \Delta y] = \text{Па}\cdot\text{с}$.

В системе СГС единица динамической вязкость в память французского врача Пуазейля, исследовавшего законы движения вязкой жидкости, была названа пуазом (П).

Движения жидкости параллельными слоями

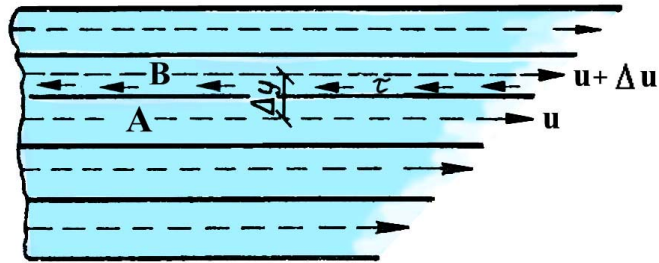


Рис.2.

Наряду с динамической вязкостью m при практических расчётах применяют так называемую **кинематическую вязкость** n , представляющую собой отношение динамической вязкости к плотности жидкости:

$$n = m/\rho \quad (13)$$

В системе СИ кинематическая вязкость измеряется в квадратных метрах на секунду (m^2/c); в системе СГС единица для измерения кинематической вязкости в честь английского физика Стокса была названа Стоксом:

$$1\text{Ст} = 1\text{см}^2/\text{с} = 10^{-4}\text{м}^2/\text{с} \quad (14)$$

Сотая часть Стокса называется сантистоксом (сСт): $1\text{сСт} = 10^{-2}\text{Ст}$.

Вязкость капельных жидкостей уменьшается с увеличением температуры, а вязкость газов, наоборот, возрастает (табл.3). Объясняется это различием самой природы вязкости в жидкостях и газах. В жидкостях молекулы расположены гораздо ближе друг к другу, чем в газах, и вязкость вызывается силами молекулярного сцепления. Эти силы с увеличением температуры уменьшаются, поэтому вязкость падает. В газах же вязкость обусловлена главным образом беспорядочным тепловым движением молекул, интенсивность которого увеличивается с ростом температуры, поэтому вязкость газов с увеличением температуры возрастает.

Для опытного определения вязкости жидкости применяют специальные приборы, называемые вискозиметрами. Всем капельным жидкостям свойственна испаряемость, однако, интенсивность испарения у различных жидкостей различна и зависит от условий, в которых они находятся. Характеристикой испаряемости является давление (упругость) насыщенных паров. Давлением насыщенных паров называется такое давление, при котором жидкость перестаёт кипеть, если давление в сосудах в процессе кипения повышается, или начинает кипеть, если давление в сосуде понижается. Давление насыщенных паров зависит от рода жидкости и её температуры. Для всех жидкостей (не освобождённых от воздуха и других газов, обычно находящихся в жидкости в механической смеси или в растворённом виде) давление насыщенных паров лежит в пределах между давлением в пустоте и атмосферным давлением.

Т а б л и ц а 3. Значения кинематической вязкости (ν) воды и воздуха

t, °C	106 ν , 4 м ² /с		t, °C	106 ν , 4 м ² /с	
	воды	воздуха		воды	воздуха
0	1,78	13,7	40	0,66	17,6
10	1,31	14,7	60	0,48	19,6
20	1,01	15,7	100	0,28	23,8
30	0,81	16,6			

Таким образом, чем больше давление насыщенных паров при данной температуре, тем больше испаряемость жидкости. Кипение жидкости при понижении давления до давления насыщенных паров называется **кавитацией**. При кавитации в жидкости образуются полости (каверны), заполненные парами и выделившимися из жидкости воздухом и другими газами, которые были в ней растворены. Кавитация вредна. Она снижает пропускную способность труб, насадков, вызывает вибрацию, механические повреждения, снижает КПД машин и поэтому, как правило, не допускается.

В гидравлике и аэродинамике для облегчения решения некоторых задач используется понятия идеальной жидкости и идеального газа.

Под идеальной жидкостью понимают воображаемую жидкость, обладающую абсолютной подвижностью частиц (т.е. лишённую вязкости), абсолютно несжимаемую и абсолютно неспособную сопротивляться разрыву.

Под идеальным газом понимают воображаемый газ, лишенный вязкости и удовлетворяющий уравнению Клайпейрона – Менделеева, т.е. газ, разреженный настолько, что взаимодействие между его молекулами можно не учитывать. Таким образом, идеальная жидкость и идеальный газ представляют собой некоторые модели реальной жидкости и реального газа. Выводы, полученные из свойств идеальной жидкости или идеального газа, приходится, как правило, исправлять, вводя поправочные коэффициенты.

Вопросы для самоконтроля:

1. Что называется гидравликой?
2. На какие классы разделяются жидкости?
3. Назовите единицы измерения удельного веса?
4. Что называется плотностью?
5. Чем определяется удельный вес и плотность в производственных условиях?
6. Дайте определение вязкости?
7. Каким прибором определяется вязкость?
8. Что понимается под идеальной жидкостью?



Для получения полноценной версии необходимо обращаться по адресу...



«Лаборатория информационных технологий в энергетике»,
Кафедра «Тепловые электрические станции»
Красноярского государственного технического университета
e-mail: boiko@krgtu.ru
р.т.: (8-3912) 49-72-99, 49-74-63
660074, г. Красноярск, ул. Академика Киренского, 26
Красноярский государственный технический университет