

ПРЕДИСЛОВИЕ

Гидравлика — наука, изучающая законы покоя, движения жидкости и методы применения этих законов в различных областях инженерной деятельности.

Развитие гидравлики неразрывно связано с историей развития техники, и в частности, систем водоснабжения и водоотведения.

Первый гидравлический закон о воздействии жидкости на погруженное в нее тело (закон о плавании тел) был сформулирован Архимедом за 250 лет до нашей эры.

В 1612 г. Г. Галилей в своей работе «Рассуждение о телах, пребывающих в воде, и о тех, которые в ней движутся» сформулировал условия равновесия жидкости и теоретически подтвердил справедливость закона Архимеда о плавании тел. В 1643 г. Е. Торричелли предложил формулу для определения скорости истечения идеальной жидкости через отверстия. В 1653 г. Б. Паскаль сформулировал закон о передаче внешнего давления жидкостью. Закон Паскаля до настоящего времени служит основой конструирования гидравлических машин (гидроподъемников, прессов, тормозов и т.п.). В 1686 г. И. Ньютон сформулировал понятие о вязкости жидкости и высказал основные положения о внутреннем трении в движущихся жидкостях.

Инженерное применение теоретических основ гидравлики систем водоснабжения и водоотведения в Западной Европе связано с работами французских ученых: А. Шези (движение воды в каналах и трубах), П. Дюбуа (расчеты водосливов и фильтрации), А. Дарси (напорное движение воды в трубах), Д. Вентури (истечение жидкости через отверстия и насадки), А. Базена (расчет водосливов), О. Рейнольдса (ламинарный и турбулентный режимы движения жидкости).

В России существенное теоретическое развитие гидравлики систем водоснабжения и водоотведения как науки связано с деятельностью М.В. Ломоносова (общий закон сохранения энергии) и членов Петербургской академии наук Д. Бернулли (уравнение Бернулли) и Л. Эйлера (дифференциальные уравнения равновесия и движения идеальной

жидкости). Уравнение Бернулли широко используется в гидравлике систем водоснабжения и водоотведения для практических расчетов гидравлических машин, трубопроводов и их элементов.

В 1715 г. был организован первый водомерный пост на Неве. В 1767 г. было учреждено Главное управление водяных коммуникаций и начались более планомерные работы по исследованию и описанию водных путей.

Работы русских профессоров И.С. Громеко, Н.П. Петрова, Д.И. Менделеева, Н.Е. Жуковского, Р.Р. Чугаева, И.И. Леви, Н.М. Вернадского, Н.Т. Мелещенко, Г.Н. Сухомел, П.Г. Киселева, С.М. Слисского и других способствовали развитию различных отраслей промышленного производства и гидравлики систем водоснабжения и водоотведения.

Большой вклад в развитие науки о гидравлических особенностях водоснабжения и водоотведения внесли Н.Н. Павловский, А.Н. Колмогоров, С.А. Христианович, М.А. Великанов, А.Я. Милович, А.Д. Альтшуль, В.И. Калицун и многие другие.

Гидравлика составляет основу многих инженерных расчетов при конструировании специальных сооружений (плотин, трубопроводных коммуникаций различного назначения, отстойников, фильтров и т.п.).

Не производя гидравлических расчетов, нельзя принять рационального экологически обоснованного проектного решения для любого водохозяйственного объекта. Изучение курса «Гидравлика систем водоснабжения и водоотведения» позволит учащимся уяснить физическую сущность гидравлических явлений, овладеть методами инженерного расчета основных типов водопроводных и водоотводящих сооружений, приобщить их к научно-техническому творчеству и рационализаторской деятельности.

Раздел 1. ГИДРОСТАТИКА

Глава 1. ОСНОВНЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЖИДКОСТИ

1.1. Капельные и газообразные жидкости

В природе различают четыре агрегатных состояния вещества, а именно: твердое, жидкое, газообразное и плазменное.

Основное отличие жидкостей от твердых тел заключается в том, что они обладают текучестью — малым сцеплением частиц, отсутствием сил трения между частицами в состоянии покоя, вследствие чего жидкость легко принимает форму сосуда, в который она помещена. В сосудах жидкость образует свободную поверхность; если жидкость налита на плоскость, то она растекается по ней в виде тонкой пленки.

Газ также обладает свойством легкой подвижности частиц, *текучестью*, но в отличие от капельной жидкости он сжимаем, не образует свободной поверхности и занимает весь свободный объем. То, что частицы жидкости и газа обладают текучестью, позволяет объединить их под одним наименованием — жидкость. При этом собственно жидкости называются капельными жидкостями, а газы — газообразными жидкостями. Объектом изучения в гидравлике являются *капельные жидкости*, тогда как газы изучаются термодинамикой, аэродинамикой и т.п. Наиболее распространенной в природе жидкостью является вода.

При изучении общих закономерностей с целью упрощения задачи жидкость часто представляют в виде идеальной среды, абсолютно несжимаемой и лишенной сил внутреннего трения. Такую жидкость называют *идеальной*. В гидравлике учитывают физические свойства реальной жидкости. Реальные жидкости малосжимаемы, и по этим свойствам они приближаются к идеальной жидкости, но обладают силами внутреннего трения, проявляющимися в движении. Этим они существенно отличаются от идеальной жидкости.

1.1.1. Невязкая жидкость

В механике жидкости для облегчения решения некоторых задач используется понятие о невязкой (совершенной) жидкости.

Под невязкой жидкостью понимают воображаемую жидкость, обладающую абсолютной подвижностью, т.е. лишенную вязкости, а также абсолютно несжимаемую, не расширяющуюся с изменением температуры, абсолютно неспособную сопротивляться разрыву. Таким образом, невязкая жидкость представляет собой некоторую модель реальной жидкости. Выводы, полученные исходя из свойств невязкой жидкости, приходится, как правило, корректировать, вводя поправочные коэффициенты.

1.1.2. Аномальные жидкости

Трение в некоторых жидкостях не подчиняется закону вязкости Ньютона. К этим, так называемым неньютоновским (или аномальным), жидкостям можно отнести, например, литой бетон, строительный раствор, глинистый раствор, употребляемый при бурении скважин, нефтепродукты при температуре, близкой к температуре застывания, коллоидные растворы и др.

Чтобы привести такие жидкости в движение, необходимо приложить некоторое (иногда значительное) усилие. Движение неньютоновских жидкостей начинается только после того, как касательные напряжения в них достигнут некоторого предельного значения (так называемого начального напряжения сдвига): при меньших касательных напряжениях эти жидкости не текут, а испытывают только упругие деформации, как твердые тела.

В аномальных жидкостях касательное напряжение определяется по формуле Бингема:

В аномальных жидкостях касательное напряжение определяется по формуле Бингема:

$$\tau = \tau_0 + \frac{\mu du}{dy},$$

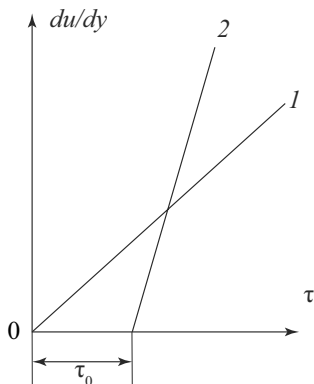


Рис. 1.1. Зависимость касательного напряжения от градиента скорости для нормальных (1) и аномальных жидкостей (2)

где τ_0 — начальное (предельное) напряжение сдвига (для ньютоновских жидкостей $\tau_0 = 0$).

Таким образом, в аномальных жидкостях сила трения возникает еще в покоящихся, но уже стремящихся прийти в движение жидкостях. На рис. 1.1 показана зависимость между касательным напряжением и градиентом скорости.

Вязкость аномальных жидкостей (так называемая структурная вязкость) при заданных температуре и давлении непостоянна и изменяется в зависимости от градиента скорости du/dy по мере разрушения структуры жидкости, а следовательно, не является физической константой, как вязкость нормальных жидкостей.

1.2. Плотность и удельный вес жидкости

Плотность ρ — отношение массы тела M к объему V :

$$\rho = \frac{M}{V}.$$

Плотность выражается в килограммах на кубический метр ($\text{кг}/\text{м}^3$).

Определение плотности жидкости можно производить как непосредственным ее взвешиванием, так и с использованием ареометра, действие которого основано на законе Архимеда (рис. 1.2).

Ареометр погружается в жидкость и плавает в ней. Чем больше плотность жидкости, тем меньше трубка ареометра погружается в нее. На шкале трубки указана плотность жидкости. Плотность жидкости зависит от температуры (табл. 1.1).



Рис. 1.2. Ареометр

Удельный вес жидкости γ — отношение веса жидкости G к ее объему V :

$$\gamma = \frac{G}{V}.$$

В качестве единицы удельного веса принимают $\text{Н}/\text{м}^3$. Удельный вес — векторная величина. Он не является характеристикой вещества, его значение зависит от ускорения силы тяжести, принимаемого обыч-

но равным $9,81 \text{ м/с}^2$ в месте определения. Удельный вес равен произведению плотности на ускорение силы тяжести:

$$\gamma = \rho \cdot g.$$

Таблица 1.1

Зависимость плотности воды от температуры

Температура $t, \text{ }^\circ\text{C}$	Плотность ρ , кг/м ³	Температура $t, \text{ }^\circ\text{C}$	Плотность ρ , кг/м ³	Температура $t, \text{ }^\circ\text{C}$	Плотность ρ , кг/м ³
0	999,87	20	998,26	70	977,94
3	999,99	30	995,76	80	971,94
4	1000,00	40	992,35	90	965,56
5	999,99	50	988,20	100	958,65
10	999,75	60	983,38		

1.3. Вязкость жидкости

Расширение жидкости при нагревании характеризуется температурным коэффициентом объемного расширения β_t , выражающим относительное изменение объема жидкости при изменении ее температуры на один градус:

$$\beta_t = \frac{V_{t,2} - V_{t,1}}{V_{t,1}} \frac{1}{t_2 - t_1},$$

где β_t — температурный коэффициент, $^\circ\text{C}^{-1}$;

$V_{t,2}$ — объем жидкости при температуре t_2 , дм^3 , м^3 ;

$V_{t,1}$ — объем жидкости при температуре t_1 , дм^3 , м^3 .

Сжимаемость выражается в паскалях в минус первой степени (Па^{-1}).

При гидравлических расчетах пользуются и обратной величиной, именуемой *модулем упругости*, $E_{\text{ж}} = 1/\beta_t$. Для воды в обычных условиях $E_{\text{ж}} = 2,1 \cdot 10^9 \text{ Па}$.

Вязкость является чрезвычайно важным свойством реальной жидкости, проявляющимся при ее движении. При перемещении одних слоев жидкости относительно других между ними возникают силы трения. В результате этого, например, слои, движущиеся с большей скоростью, будут увлекать за собой соседние слои жидкости. *Свойство жидкостей оказывать сопротивление касательным силам, стремящимся сдвинуть одни частицы по отношению к другим, и называется вязкостью.*

Динамическая вязкость μ — сила трения, приходящаяся на единицу площади соприкасающихся слоев жидкости при градиенте скорости, равном единице. Динамическая вязкость μ в системе СИ выражается в паскаль-секундах (Па·с). Ранее динамическую вязкость измеряли пуазами (П), численно $1 \text{ П} = 0,1 \text{ Па}\cdot\text{с}$.

И. Ньютон (1642—1727) выдвинул гипотезу о силе трения между отдельными слоями жидкости, согласно которой сила внутреннего трения в жидкости не зависит от давления, пропорциональна площади соприкосновения слоев, относительной скорости движения слоев и зависит от рода жидкости. Математически эта гипотеза была обоснована Н.И. Петровым — основоположником гидродинамической теории смазки. Им дана формула для определения касательного напряжения τ :

$$\tau = \mu \cdot \frac{dv}{dn},$$

где τ — касательное напряжение;

dv/dn — градиент скорости, т.е. отношение приращения скорости на границах слоя жидкости к его толщине.

В расчетах широко используется понятие *кинематическая вязкость*, которая представляет собой отношение динамической вязкости к плотности жидкости: $\nu = \mu/\rho$. Единица кинематической вязкости ν в системе СИ — $\text{м}^2/\text{с}$. Ранее кинематическая вязкость измерялась в стоксах (Ст), $1 \text{ Ст} = 1 \text{ см}^2/\text{с}$.

Текучесть жидкости одновременно характеризует и ее вязкость: чем подвижнее жидкость, тем она менее вязка. Вязкость жидкости существенно зависит от температуры и измеряется вискозиметрами (рис. 1.3).

Принцип работы вискозиметра: в сосуд 1 заливают исследуемую жидкость объемом 5200 мл, затем с помощью электрической спирали 2 и водяной бани 3 подогревают ее до температуры 20 °С, по термо-

метрам 4 и 5 следят за температурой жидкости. Приподняв запорную иглу 6, определяют время истечения исследуемой жидкости через калиброванное отверстие 7 в емкость 8.

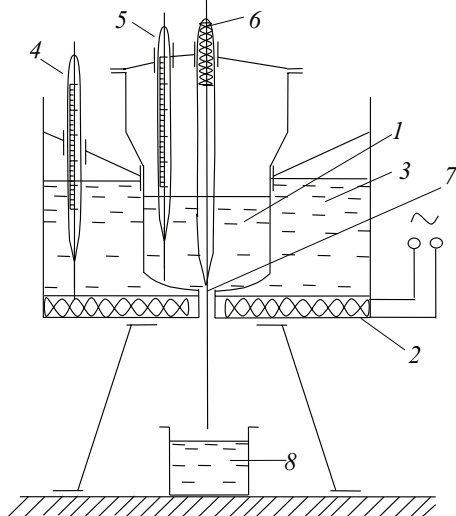


Рис.1.3. Схема работы вискозиметра

Кинематическая вязкость, $\text{м}^2/\text{с}$, воды при атмосферном давлении определяется по формуле Пуазейля

$$\nu = \frac{0,0178}{1 + 0,0337t + 0,000221t^2} = 10^{-4}.$$

Значения кинематической вязкости, $10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$, ряда жидкостей при $t = 15 \text{ }^\circ\text{C}$ приведены ниже:

Бензин	0,0083—0,0093	Глицерин	41
Керосин	0,02—0,03	Мазут	22—25
Нефть	0,081—0,093	Пагока.	600
Машинное масло. .	0,4—1,4		

Вся свободная поверхность жидкости находится в состоянии равномерного поверхностного натяжения, характеризуемого коэффициентом поверхностного натяжения σ , равным для воды $0,0726 \text{ Н/м}$ при $20 \text{ }^\circ\text{C}$.

Влиянием поверхностного натяжения обычно пренебрегают, однако в трубках малого диаметра не считаться с ним нельзя, так как именно силой поверхностного натяжения объясняется капиллярное поднятие или опускание жидкости. В узких сосудах жидкость поднимается на высоту

$$h = \frac{2\sigma}{\rho gr},$$

где σ — коэффициент поверхностного натяжения;

r — радиус капилляра.

Смазывающая способность — свойство жидкости понижать трение между контактирующими твердыми поверхностями путем образования пленки определенной толщины. Так, при толщине пленки 0,0007 мм и более коэффициент трения между твердыми поверхностями уменьшается в десятки раз.

Вспениваемость — способность жидкости образовывать пену при больших скоростях движения, что вредно отражается на работе гидросистем. Вспениваемость зависит от вязкости, поверхностного натяжения, а также от времени эксплуатации, окисления и загрязнения жидкости.

Эмульгируемость — способность жидкости образовывать с капельками воды мелкодисперсную систему, ухудшающую смазочные свойства жидкости и вызывающую коррозию.

Стойкость к воспламенению характеризуется температурой вспышки смеси паров масла с окружающим воздухом.

1.4. Единицы измерений основных физических показателей жидкости

Физическая величина — это количественная характеристика свойств физического тела. Любая физическая величина имеет единицу измерения. Единицы измерений физических величин объединяются в системы единиц.

Почти два столетия назад немецкий математик К. Гаусс доказал, что, если выбрать независимые единицы измерений нескольких величин, то на их основе с помощью физических законов можно установить единицы величин, входящих в любой раздел физики.

Единицы измерений, послужившие основой для выражения других единиц, называются *основными единицами системы*. Единицы, полученные из основных единиц с помощью физических закономерностей, называются *производными единицами системы*.

Обозначение физических величин должно соответствовать обозначениям, приведенным в государственных стандартах и другой нормативно-технической литературе.

Таблица 1.2

Основные и дополнительные единицы физических величин системы СИ

Величина			Единица		
Наименование	Обозначение	Рекомендуемое обозначение	Наименование	Обозначение	
				русское	международное
<i>Основные</i>					
Длина	L	l	Метр	м	m
Масса	M	m	Килограмм	кг	kg
Время	T	t	Секунда	с	s
Сила электрического тока	I	I	Ампер	А	A
Термодинамическая температура	θ	T	Кельвин	К	K
Количество вещества	N	n, V	Моль	моль	mol
Сила света	J	J	Кандела	кд	cd
<i>Дополнительные</i>					
Плоский угол	—	—	радиан	рад	rad
Телесный угол		—	стерадиан	ср	sr

Примечание. Кроме температуры Кельвина (обозначение T) допускается применять также температуру Цельсия (обозначение t), определяемую выражением $t = T - T_0$, где $T_0 = 273,15$ К по определению. Температура Кельвина выражается в кельвинах, температура Цельсия — в градусах Цельсия (обозначение $^{\circ}\text{C}$). По размеру градус Цельсия равен Кельвину, $1^{\circ}\text{C} = 1\text{K}$.

**Важнейшие производные единицы СИ,
применяемые в гидравлике**

Величина		Единица	
Наименование	Размерность	Наименование	Обозначение
Площадь	L^2	Квадратный метр	m^2
Объем, вместимость	L^3	Кубический метр	m^3
Скорость	LT^{-1}	Метр в секунду	м/с
Ускорение	LT^{-2}	Метр на секунду в квадрате	m/c^2
Частота периодического процесса	T^{-1}	Герц	Гц
Частота вращения	T^{-1}	Секунда в минус первой степени	c^{-1}
Угловая скорость	T^{-1}	Радан в секунду	рад/с
Плотность	$L^{-3}M$	Килограмм на кубический метр	$кг/м^3$
Момент инерции площади сечения	L^4	Метр в четвертой степени	m^4
Количество движения (импульс)	LMT^{-1}	Килограмм-метр в секунду	$кг \cdot м/с$
Момент количества движения (момент импульса)	L^2MT^{-1}	Килограмм-метр в квадрате на секунду	$кг \cdot м^2/с$
Сила, вес, сила тяжести, грузоподъемная сила	LMT^{-2}	Ньютон	Н
Удельный вес	$L^{-2}MT^{-2}$	Ньютон на кубический метр	$Н/м^3$
Момент силы, момент пары сил, крутящий момент	L^2MT^{-2}	Ньютон-метр	$Н \cdot м$
Давление	$L^{-1}MT^{-2}$	Паскаль	Па
Напряжение	$L^{-1}MT^{-2}$	Паскаль	Па
Модуль упругости	$L^{-1}MT^{-2}$	Паскаль	Па
Энергия, работа	L^2MT^{-2}	Джоуль	Дж
Мощность	L^2MT^{-3}	Ватт	Вт
Динамическая вязкость	$L^{-1}MT^{-1}$	Паскаль-секунда	$Па \cdot с$
Кинематическая вязкость	L^2MT^{-1}	Квадратный метр на секунду	m^2/c

В настоящее время применяется Международная система единиц физических единиц СИ (Система интернациональная), принятая в 1960 г. Она состоит из семи основных единиц (табл. 1.2) и производных (табл. 1.3), образованных из физических связей между основными величинами.

Ускорение свободного падения g принимается в обычных технических расчетах равным $9,81 \text{ м/с}^2$. Для различных мест земного шара величина g может быть найдена по формуле

$$g = 9,806056 - 0,025028 \cos \varphi - 0,000003h,$$

где g — ускорение свободного падения, м/с^2 ;

φ — географическая широта места, м ;

h — высота места измерения над уровнем моря, м .

Обозначения единиц, названных в честь ученых, пишут с прописной (заглавной) буквы, например единица силы ньютон — Н — сила, сообщающая телу массой 1 кг ускорение 1 м/с^2 в направлении действия силы; единица давления паскаль — Па — давление, вызываемое силой 1 Н , равномерно распределенной по поверхности площадью 1 м^2 .

Для выражения больших и малых значений физических величин применяются приставки и множители, приведенные в табл. 1.4, с их помощью образуют десятичные кратные и дольные единицы.

Таблица 1.4

Приставки и множители для образования десятичных кратных и дольных единиц

Приставка	Обозначение	Множитель	Пример
Мега	М	10^6	МВт (мегаватт)
кило	к	10^3	кН (килоньютон)
гекто	г	10^2	гПа (гектопаскаль)
деци	д	10^{-1}	дм (дециметр)
санти	с	10^{-2}	см (сантиметр)
милли	м	10^{-3}	мм (миллиметр)
микро	мк	10^{-6}	мкм (микрометр)

Физические константы воды в разных системах единиц

Величина	Система единиц	Размерность	Переходный коэффициент, связывающий данную систему с системой СИ
Удельный вес γ	СИ	н/м ³	—
	МКГСС	кг*/м ³	1 кг*/м ³ = 9,80665 Н/м ³
	СГС	дин/см ³	1 дин/см ³ = 1,10 Н/м ³
	Внесистемные: мт*с мтс	т*/м ³ т/м ² ·с ²	1 т*/м ³ = 9806,65 Н/м ³ 1 т/м ² ·с ² = 1,103 Н/м ³
Плотность ρ	СИ	кг/м ³	—
	МКГСС	кг/м ³	—
	СГС	г/см ³	1 г/см ³ = 1,103 кг/м ³
	Внесистемные: мт*с мтс	т*с ² /м ⁴ т/м ³	1 т*с ² /м ⁴ = 9806,65 кг/м ³ 1 т/м ³ = 1·10 ³ кг/м ³
Кинематическая вязкость ν	СИ	м ² /с	—
	МКГСС	м ² /с	—
	СГС	см ² /с (стоксы)	1 стокс = 1·10 ⁻⁴ м ² /с
Динамическая вязкость μ	СИ	Н·с/м ²	—
	МКГСС	кг*с/м ²	1 кг*с/м ² = 9,80665 Н·с/м ²
	СГС	г/см·с (пуазы)	1 пуаз = 0,1 Н·с/м ²
	Внесистемные: мт*с мтс	т*с/м ² т/м·с	1 т*с/м ² = 9806,65 Н·с/м ² 1 т/м·с = 1·10 ³ Н·с/м ²

Примечание. Системы единиц мтс и мт*с отнесены к внесистемным. Через т*, кг* и г* обозначены единицы силы (веса).

В гидравлике укоренилась так называемая техническая система единиц, использующая как основные единицы измерения м, т* (тонна как

единица силы), с. Представляется необходимым, однако, указать численные соотношения между основными величинами, встречающимися в гидравлике, выраженными в рассматриваемой системе и в системе СИ. Такие соотношения даны в табл. 1.5.

Имеет распространение также и так называемая физическая система единиц, основанная на единицах м, т (тонна как единица массы) и с. В той же таблице даны переходные множители от этой системы к системе СИ. Таким образом, пользующийся настоящей книгой студент или специалист может применять любую систему единиц и переходить от одной системы к другой по данным табл. 1.5.

1.5. Примеры

Пример 1.1. *Определить температурный коэффициент объемного расширения воды β_t , если при увеличении температуры с 5 до 15 °С объем воды, равный 8000 л, увеличился на 6 л.*

Решение.

$$\beta_t = \frac{V_{t,2} - V_{t,1}}{V_{t,1}(t_2 - t_1)} = \frac{8006 - 8000}{8000(15 - 5)} = \frac{6}{8000 \cdot 10} = 0,000075 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}.$$

Сжимаемость жидкости характеризуется модулем сжимаемости β_p , представляющим собой относительное изменение объема жидкости, приходящееся на единицу изменения давления:

$$\beta_p = \frac{V_2 - V_1}{V_1} \cdot \frac{1}{p_2 - p_1}.$$

Пример 1.2. *При протекании минерального масла по трубе касательное напряжение на внутренней поверхности трубы $\tau = 2$ Па. Найти кинематическую вязкость масла, если скорость в трубе изменяется по закону $v = 35y - 380y^2$, а плотность масла $\rho = 883 \text{ кг/м}^3$.*

Решение. Кинематическая вязкость $\nu = \mu/\rho$.

$$\mu = \frac{\tau}{dv/dy}, \quad \text{тогда} \quad \nu = \frac{\tau}{\rho dv/dy}.$$

Градиент скорости $dv/dy = 35 - 2 \cdot 380y$, но у стенки трубы $y = 0$, следовательно, $dv/dy = 35 \text{ 1/с}$.

Тогда

$$v = \frac{\tau}{35 \cdot \rho} = \frac{2}{35 \cdot 883} = 0,65 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}.$$

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Дайте определение гидравлики как научной дисциплины.
2. В чем состоит значение гидравлики для специалистов водоснабжения и водоотведения?
3. Перечислите основные физические свойства жидкостей.
4. В чем состоит отличие жидкостей от твердых тел и газов?
5. Что понимают под идеальной жидкостью?
6. Какая связь существует между плотностью и удельным весом жидкостей?
7. В каких единицах измеряют удельный вес в системе СИ?
8. Что такое коэффициент объемного сжатия жидкости? Какова его связь с модулем объемной упругости?
9. Что называется кинематической и динамической вязкостью жидкости?
10. В чем состоит гипотеза Ньютона о вязкости жидкости?
11. Какая связь существует между динамической и кинематической вязкостями?
12. В каких единицах измеряют динамическую вязкость в системе СИ?

Глава 2. РАВНОВЕСИЕ ЖИДКОСТИ

2.1. Гидростатическое давление и его свойства

2.1.1. Понятие о гидростатике

Гидростатика — раздел гидравлики, в котором изучаются законы покоя жидкости, действующие при этом силы, плавание тел без их перемещения. Все частицы жидкости испытывают действие сил тяжести, как вышележащих слоев, так и внешних сил, действующих по поверхности жидкости. Действие этих сил вызывает внутри жидкости напряжение, называемое *гидростатическим давлением*.

Силы могут быть *поверхностными* и *массовыми* (объемными). *Поверхностные силы* — силы давления на свободной поверхности жидкости (атмосферное или отличное от него внешнее давление в замкнутом

сосуде или силы давления соседних частиц жидкости). Поверхностные силы распределены по поверхности и пропорциональны ее площади. Массовые силы — объемные силы, пропорциональные массе жидкости: силы тяжести и инерционные силы.

Рассмотрим резервуар, представленный на рис. 2.1, а. На дно резервуара площадью $abcd$ оказывает воздействие вес содержащейся в нем жидкости, т.е. $P = \rho g V$, где ρ — плотность жидкости; V — ее объем. Воздействие силы P на площадь дна ω_{abcd} представляет собой среднее гидростатическое давление $p_{cp} = P/\omega_{abcd}$

Выделим на боковой поверхности небольшую площадку $\Delta\omega_{mnkz}$, силу давления на нее обозначим через Δp . Отношение $\Delta p/\Delta\omega$ является также средним гидростатическим давлением в пределах выделенной площадки. Если теперь $\Delta\omega$ уменьшать до нуля, то Δp будет также стремиться к нулю, а отношение $\Delta p/\Delta\omega$ в пределе будет представлять собой гидростатическое давление (обозначим его буквой p) в точке, а именно:

$$P = \lim_{\Delta\omega \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta p}{\Delta\omega} \right).$$

В качестве единицы давления применяют паскаль (Па).

Итак, гидростатическое давление в точке является пределом отношения силы гидростатического давления, действующей на элементарную площадку, к самой элементарной площадке, если последняя стремится к нулю.

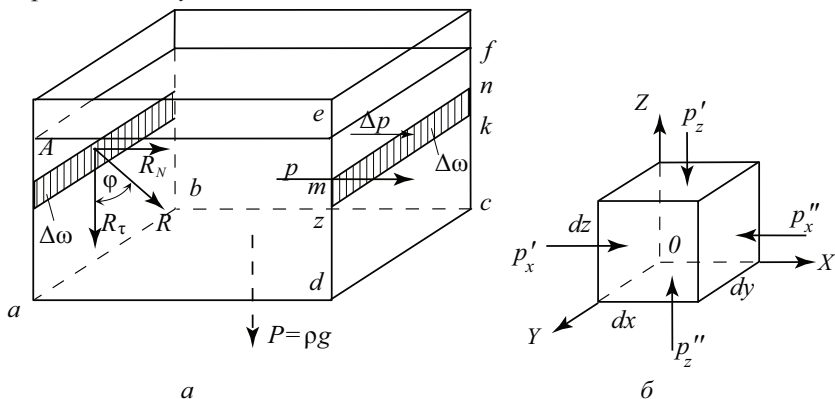


Рис. 2.1. Определение гидростатического давления в точке

Определим свойства гидростатического давления. На вертикальной левой стенке резервуара (рис. 2.1, а) выделим элементарную площадку $\Delta\omega$. Предположим, что реакция стенки на жидкость будет приложена к точке А и направлена к ней под углом φ . Вектор R можно разложить на два направления — нормальное к стенке и касательное вдоль стенки: R_N и R_τ . Сила R_N вызывает в жидкости сжатие, чему жидкость легко противостоит. Сила R_τ должна вызвать перемещение частиц жидкости вдоль стенки, но этого мы не наблюдаем (все рассматривается для случая покоя жидкости). Наше предположение о том, что вектор R направлен под углом, неверно.

Отсюда следует, что *гидростатическое давление жидкости направлено по внутренней нормали к граничащей с ней поверхности* — это первое свойство гидростатического давления.

Выделим из жидкости, заполняющей объем резервуара, элементарный кубик со сторонами dx , dy , dz (рис. 2.1, б). Так как кубик находится в равновесии, то из этого следует, что уравновешены поверхностные и массовые силы по всем трем осям:

$$\begin{aligned} p'_x dy \cdot dz &= p''_x dy \cdot dz; \\ p'_y dx \cdot dz &= p''_y dx \cdot dz; \\ p'_z dx \cdot dy &= p''_z dx \cdot dy - \rho g dx \cdot dy \cdot dz, \end{aligned}$$

где $dx \, dy \, dz$ — объем кубика. Сократив равенства, получим

$$p'_x = p''_x; \quad p'_y = p''_y; \quad p'_z + \rho g \cdot dz = p''_z.$$

Членом $\rho g \, dz$, бесконечно малым по сравнению с p'_z и p''_z , можно пренебречь, т.е.

$$p'_x = p''_x; \quad p'_y = p''_y; \quad p'_z = p''_z.$$

Так как кубик не деформируется (не вытягивается вдоль одной из осей, жидкость находится в покое), давления по различным осям одинаковы, а именно:

$$p'_x = p''_x = p'_y = p''_y = p'_z = p''_z.$$

Конец ознакомительного фрагмента.
Приобрести книгу можно
в интернет-магазине
«Электронный универс»
e-Univers.ru