



П.Д. Викулин, В.Б. Викулина

**ГИДРАВЛИКА СИСТЕМ
ВОДОСНАБЖЕНИЯ
И ВОДООТВЕДЕНИЯ**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

П.Д. Викулин, В.Б. Викулина

ГИДРАВЛИКА СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ

*Рекомендовано Учебно-методическим объединением вузов РФ
по образованию в области строительства
в качестве учебника для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по программе бакалавриата
по направлению 270800 «Строительство»
(профиль «Водоснабжение и водоотведение»)
(03.07.2013 г., №102-15/788)*

2-е издание

Москва 2015

УДК 628.2+532.5
ББК 39.71-022
В43

Рецензенты:

доктор технических наук, академик РАЕН *Л.С. Скворцов*,
председатель регионального отделения «Проблемы внедрения
современных технологий» Российской академии естественных наук;
доктор технических наук, профессор *О.Г. Примин*, заместитель
генерального директора ОАО «МосводоканалНИИпроект»;
доктор технических наук, профессор *В.И. Баженов*,
исполнительный директор ЗАО «Водоснабжение и водоотведение»

Викулин, П.Д.

В43 Гидравлика систем водоснабжения и водоотведения : учебник /
П.Д. Викулин, В.Б. Викулина ; М-во образования и науки Рос. Феде-
рации, Моск. гос. строит. ун-т. 2-е изд. Москва : МГСУ, 2015. 248 с.
ISBN 978-5-7264-0986-3

Изложены основные вопросы гидравлики систем водоснабжения и водоотведения. Приведены физические свойства жидкости, основы кинематики и динамики, гидравлические сопротивления. Рассмотрено движение жидкости по трубопроводам в системах водоснабжения и водоотведения. Описано обтекание потоком жидкости твердых тел. Детализированы механизмы перемешивания затопленных струй с окружающей средой и смешения сточных вод с водой водоемов. Приведены основные элементы гидравлических машин. В каждом разделе есть примеры гидравлических расчетов.

Для студентов бакалавриата, обучающихся по направлению 270800 «Строительство», по профилю «Водоснабжение и водоотведение», очной и очно-заочной форм обучения.

УДК 628.2+532.5
ББК 39.71-022

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. Таковую 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:

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

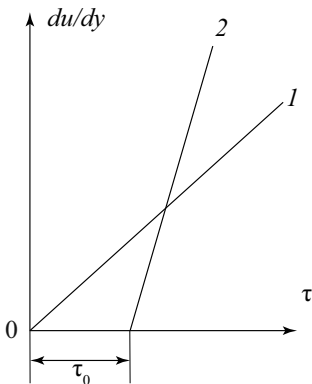


Рис. 1.1. Зависимость касательного напряжения от градиента скорости для нормальных (1) и аномальных жидкостей (2)

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).

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-



Рис. 1.2. Ареометр

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 $\rho, \text{ кг/м}^3$	Температура $t, \text{ }^\circ\text{C}$	Плотность $\rho, \text{ кг/м}^3$	Температура $t, \text{ }^\circ\text{C}$	Плотность $\rho, \text{ кг/м}^3$
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.

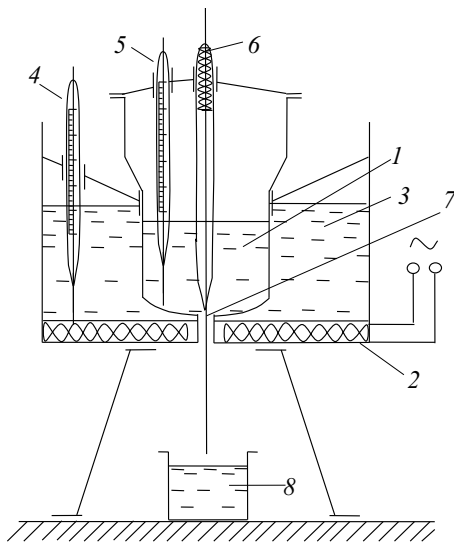


Рис.1.3. Схема работы вискозиметра

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	Патока	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 считается 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, $1^{\circ}\text{C} = 1\text{K}$.

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)

Таблица 1.5

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

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Раздел 1. ГИДРОСТАТИКА	5
Глава 1. Основные физические свойства жидкости	5
1.1. Капельные и газообразные жидкости	5
1.1.1. Невязкая жидкость	6
1.1.2. Аномальные жидкости	6
1.2. Плотность и удельный вес жидкости	7
1.3. Вязкость жидкости	8
1.4. Единицы измерений основных физических показателей жидкости	11
1.5. Примеры	16
Вопросы для самопроверки	17
Глава 2. Равновесие жидкости	17
2.1. Гидростатическое давление и его свойства	17
2.1.1. Понятие о гидростатике	17
2.1.2. Дифференциальные уравнения равновесия жидкостей (уравнения Эйлера)	20
2.1.3. Основное уравнение гидростатики в дифференциальной форме	22
2.1.4. Поверхности равного давления	22
2.1.5. Основное уравнение гидростатики в интегральной форме	25
2.2. Приборы для измерения давления воды	29
2.3. Закон Паскаля. Гидромеханизмы	32
2.4. Сила давления жидкости на плоскую стенку	33
2.5. Центр давления	35
2.6. Закон Архимеда	38
2.7. Условия равновесия плавающих тел	39
2.8. Схема затворов и регуляторов гидравлического действия	43
2.9. Примеры	45
Вопросы для самопроверки	48
Раздел 2. ГИДРОДИНАМИКА	50
Глава 3. Основы кинематики и динамики жидкости	50
3.1. Понятие о гидродинамике	50
3.2. Основы кинематики движения жидкости. Основные понятия и виды движения жидкости	51
3.3. Гидравлические элементы потока	56
3.3.1. Основные понятия элементов потока	56
3.3.2. Дифференциальные уравнения движения идеальной жидкости	57

3.3.3. Дифференциальные уравнения неразрывности для идеальной жидкости	59
3.4. Уравнение Бернулли	60
3.4.1. Вывод уравнения Бернулли	60
3.4.2. Уравнение Бернулли для потока	64
3.4.3. Уравнение Бернулли в гидравлических расчетах	66
3.5. Примеры	69
Вопросы для самопроверки	72
Глава 4. Гидравлические сопротивления и потери напора при движении жидкости	73
4.1. Понятие о гидравлических сопротивлениях и потерях напора	73
4.2. Ламинарный и турбулентный режимы движения жидкости	74
4.2.1. Понятия о ламинарном и турбулентном движениях	74
4.2.2. Критерий Рейнольдса и его критическое значение	76
4.2.3. Распределение скоростей потока в трубе при ламинарном режиме	77
4.2.4. Определение расхода при ламинарном течении жидкости в трубе	79
4.2.5. Потери напора в трубе при ламинарном режиме	81
4.2.6. Распределение скоростей потока в трубе при турбулентном режиме	82
4.2.7. Потери напора при турбулентном режиме движения жидкости в трубах	84
4.3. Местные сопротивления	87
4.3.1. Понятие о местных сопротивлениях в трубопроводах	87
4.3.2. Экспериментальное определение коэффициентов местных сопротивлений и коэффициента Дарси	91
4.3.3. Определение общих потерь напора при движении жидкости	92
4.4. Примеры	93
Вопросы для самопроверки	95
Раздел 3. ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ	96
Глава 5. Цели и задачи систем водоснабжения	96
5.1. Основные понятия системы водоснабжения	96
5.2. Трассирование сетей водоснабжения	97
5.3. Движение жидкости в напорных трубопроводах	98
5.4. Основы расчета трубопроводов	99
5.4.1. Принципы расчета напорных трубопроводов	99
5.4.2. Расчет последовательно соединенных трубопроводов	105
5.4.3. Расчет параллельно соединенных трубопроводов	106
5.4.4. Расчет разветвленного и кольцевого трубопроводов	107

5.5. Зависимость гидравлического расчета от материалов трубопроводов	110
5.6. Примеры	118
Вопросы для самопроверки	119
Глава 6. Неустановившееся движение в напорных трубопроводах	120
6.1. Общие сведения о неустановившемся режиме движения жидкости в трубопроводах	120
6.2. Истечение жидкости при переменном напоре	122
6.3. Гидравлический удар	126
6.3.1. Этапы развития гидравлического удара	126
6.3.2. Определение ударного давления и скорости распространения ударной волны	130
6.3.3. Способы гашения и примеры использования гидравлического удара	131
6.4. Примеры	133
Вопросы для самопроверки	134
Раздел 4. ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СИСТЕМ ВОДООТВЕДЕНИЯ	135
Глава 7. Системы водоотведения	135
7.1. Основные понятия и общие представления о системе водоотведения	135
7.1.1. Понятие о схемах водоотведения	135
7.1.2. Условия равномерного движения жидкости в открытых каналах	137
7.1.3. Основные расчетные формулы	139
7.1.4. Гидравлические характеристики канала	144
7.1.5. Гидравлически наивыгоднейшее сечение канала	145
7.1.6. Допустимые скорости в каналах	147
7.2. Основные типы задач при расчете каналов	148
7.3. Гидравлический расчет каналов замкнутого сечения	150
7.4. Особенности гидравлического расчета русел рек	153
7.5. Общие сведения о наносах в трубопроводах	154
7.6. Примеры	158
Вопросы для самопроверки	163
Раздел 5. ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ	164
Глава 8. Гидравлика процессов механической очистки воды	164
8.1. Динамическое воздействие потока на элементы сооружений	164
8.1.1. Основные виды динамического воздействия потока	164
8.1.2. Взаимодействие струи жидкости с ограждающей поверхностью	165

8.1.3. Расчет давления на повороте потока (трубопровода)	170
8.2. Местные сопротивления в открытых руслах. Виды сопротивлений	174
8.3. Решетки	175
8.4. Водосливы	176
8.5. Водомерные лотки.	178
8.6. Фильтрация	180
8.6.1. Коэффициент фильтрации	182
8.6.2. Ламинарная и турбулентная фильтрации	183
8.7. Взаимодействие потока и твердого тела	184
8.7.1. Определение мощности воздействия струи потока на преграду	184
8.7.2. Сопротивление тел в жидкости	184
8.7.3. Обтекание шара. Гидравлическая крупность	186
8.8. Примеры.	188
Вопросы для самопроверки.	188
Глава 9. Смешение водных масс с водой водоемов	189
9.1. Разбавление водных масс водой водоемов	189
9.2. Перенос вещества в потоке	196
9.3. Определение коэффициента турбулентной диффузии для зоны смешения водных масс	201
9.4. Самоочищение воды в водоеме	202
9.5. Сброс сточных вод в непроточные водоемы	205
9.6. Примеры.	207
Вопросы для самопроверки.	210
Раздел 6. ПРИНУДИТЕЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ ВОДЫ	211
Глава 10. Гидромашины.	211
10.1. Общие сведения о гидравлических машинах.	211
10.2. Движение жидкости в рабочем колесе насоса	218
10.3. Теоретический напор и подача насоса	219
10.4. Высота всасывания и кавитация	225
10.5. Работа центробежных насосов на сеть	229
10.6. Регулирование подачи центробежных насосов	238
10.7. Основные правила эксплуатации центробежных насосов	240
10.8. Примеры.	241
Вопросы для самопроверки.	242
Библиографический список	243

Учебное издание

**Викулин Павел Дмитриевич,
Викулина Вера Борисовна**

**ГИДРАВЛИКА СИСТЕМ
ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ**

Редактор *А.К. Смирнова*
Корректор *В.К. Чупрова*
Компьютерная верстка и графика *И.Д. Бочаровой*
Дизайн обложки *Д.Л. Разумного*

Подписано в печать 29.01.2015 г. И-4. Формат 60×84/16.
Уч.-изд. л. 11,16. Усл.-печ. л. 14,4. Тираж 300 экз. Заказ 18

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Московский государственный строительный университет»
129337, Москва, Ярославское ш., 26.
Издательство МИСИ – МГСУ.
Тел. (495) 287-49-14, вн. 13-71, (499) 188-29-75, (499) 183-97-95.
E-mail: ric@mgsu.ru, gio@mgsu.ru.
Отпечатано в типографии Издательства МИСИ – МГСУ.
Тел. (499) 183-91-90, (499) 183-67-92, (499) 183-91-44