

30.12.2017
Б'89

СРЕДНЕЕ
ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ
ОБРАЗОВАНИЕ

Электронно-
Библиотечная
Система
znanium.com

О.Н. Брюханов
В.И. Коробко
А.Т. Мелик-Аракелян

ОСНОВЫ ГИДРАВЛИКИ, ТЕПЛОТЕХНИКИ И АЭРОДИНАМИКИ



У Ч Е Б Н И К



РА-394669

СРЕДНЕЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

Серия основана в 2001 году

О.Н. БРЮХАНОВ
В.И. КОРОБКО
А.Т. МЕЛИК-АРАКЕЛЯН

ОСНОВЫ ГИДРАВЛИКИ, ТЕПЛОТЕХНИКИ И АЭРОДИНАМИКИ

УЧЕБНИК

Допущено
Государственным комитетом Российской Федерации
по строительству и жилищно-коммунальному комплексу
в качестве учебника для студентов средних специальных
учебных заведений, обучающихся по специальности
08.02.07 «Монтаж и эксплуатация внутренних сантехнических устройств,
кондиционирования воздуха и вентиляции»

Государственное бюджетное учреждение культуры
«Оренбургская государственная универсальная библиотека имени Н.К. Крупской»
Электронная библиотечная система
znaniium.com

Москва
ИНФРА-М
2022

01-394669

Оглавление *Продолжение прил. 14*

Введение. Предмет гидравлики, теплотехники и аэродинамики	3
Краткий исторический обзор и современный уровень развития гидравлики, теплотехники и аэродинамики	4
Раздел 1. Основы гидравлики	
Глава 1. Основные физические свойства жидкостей	9
1.1. Определение жидкостей. Плотность и удельный вес жидкостей	9
1.2. Сжимаемость и температурное расширение жидкостей	11
1.3. Вязкость жидкостей. Закон Ньютона о силе внутреннего трения	12
1.4. Понятие об идеальной жидкости	16
1.5. Аномальные жидкости	17
1.6. Понятие многофазных систем	19
<i>Примеры</i>	20
<i>Контрольные вопросы</i>	22
Глава 2. Основы гидростатики	23
2.1. Гидростатическое давление и его свойства	23
2.2. Общие дифференциальные уравнения равновесия жидкости	23
2.3. Равновесие жидкости в поле силы тяжести	26
2.4. Измерение давления. Закон Паскаля	28
2.5. Абсолютное и избыточное давление. Вакуум	28
2.6. Давление жидкости на плоские стенки. Центр давления	31
2.7. Давление жидкости на цилиндрические поверхности	35
2.8. Закон Архимеда	36
<i>Примеры</i>	38
<i>Контрольные вопросы</i>	42
Глава 3. Основные законы движения жидкости	43
3.1. Основные понятия движения жидкости	43
3.2. Расход и средняя скорость жидкости	43
3.3. Понятие живого сечения жидкости	45
3.4. Уравнение Бернулли для элементарной струйки несжимаемой жидкости и его геометрическое и энергетическое истолкование	46
3.5. Уравнение Бернулли для потока с поперечным сечением конечных размеров	51
<i>Примеры</i>	53
<i>Контрольные вопросы</i>	56

Глава 4. Гидравлические сопротивления	57
4.1. Виды гидравлических сопротивлений	57
4.2. Режимы движения жидкостей. Критерий О. Рейнольдса	58
4.3. Общее выражение для потерь напора на трение при равномерном движении жидкости в трубах	60
4.4. Турбулентное равномерное движение жидкости в трубах. Коэффициент гидравлического трения. График Никурадзе	61
4.5. Местные гидравлические сопротивления. Потери напора при изменении сечения потока. Формула Борда	67
4.6. Потери напора при изменении направления потока	72
4.7. Местные потери в трубах при малых числах Рейнольдса	74
<i>Примеры</i>	74
<i>Контрольные вопросы</i>	79
Глава 5. Гидравлический расчет трубопроводов	80
5.1. Трубопроводы и их виды. Гидравлический расчет корот- кого трубопровода	80
5.2. Гидравлический расчет длинного трубопровода	82
5.3. Гидравлический удар в трубопроводах	86
<i>Примеры</i>	87
<i>Контрольные вопросы</i>	90
Глава 6. Истечение жидкости через отверстия и насадки	91
6.1. Истечение жидкости через отверстия в тонкой стенке при постоянном напоре	91
6.2. Истечение жидкости через насадки	94
<i>Примеры</i>	95
<i>Контрольные вопросы</i>	99
Глава 7. Насосы	100
7.1. Общие понятия о насосах. Классификация насосов	100
7.2. Центробежные насосы и их основные характеристики	100
7.3. Элементы теории рабочего колеса центробежного насоса	109
7.4. Поршневые насосы и их основные характеристики	112
7.5. Струйные насосы	119
<i>Примеры</i>	122
<i>Контрольные вопросы</i>	123
Раздел 2. Основы теплотехники	
Глава 8. Рабочее тело и основные законы идеального газа	124
8.1. Рабочее тело и параметры его состояния	124
8.2. Основные законы идеального газа: закон Бойля-Мариотта, закон Гей-Люссака, закон Шарля, закон Авогадро	127
8.3. Уравнение состояния газа	131
<i>Примеры</i>	133
<i>Контрольные вопросы</i>	134

Введение

Предмет гидравлики, теплотехники и аэродинамики

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 расчет разнообразных гидротехнических сооружений (например, плотин, каналов, водосливов), трубопроводов для подачи различных жидкостей, гидромашин (насосов, гидротурбин, гидропередатчиков), а также других гидравлических устройств, применяемых во многих областях техники.

Теплотехникой называется наука, изучающая технические средства превращения природных энергоресурсов (топлива, урана, тепла недр Земли, излучения Солнца) в непосредственно используемые формы энергии: теплоту, работу и электричество. Теплотехника включает техническую термодинамику, теорию теплообмена, рассматривает тепловые двигатели, холодильные машины и термопреобразователи, компрессоры и вентиляторы, топливосжигающие устройства и котельные установки.

Аэродинамикой называется наука, изучающая движение газообразных тел, а также взаимодействие их с твердыми 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 расчет летательных аппаратов, трубопроводов, транспортирующих различные газы (воздухопроводов, газопроводов, паропроводов), конструирование газовых машин (турбин, компрессоров, вентиляторов), проектирование котельных агрегатов, печных 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 определенных 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 использует математический аппарат.

Знание законов механики жидкости и теплотехники необходимо для решения многих технических вопросов в области санитарной техники, в частности в области водоснабжения, канализации, теплогазоснабжения и вентиляции. Кроме того, гидравлика, аэродинамика и теплотехника служат теоретической базой при изучении ряда специальных дисциплин, входящих в учебный план техникумов.

Краткий исторический обзор и современный уровень развития гидравлики, теплотехники и аэродинамики

Гидравлика зародилась в Древней Греции. Первым научным трудом по гидравлике считается работа Архимеда (287—212 гг. до н.э.) «О плавающих телах», содержащая его известный закон о равновесии тела, погруженного в жидкость.

В период средневековья гидравлика как наука практически не развивалась, так как эпоха феодализма с ее натуральным хозяйством и отсутствием развитой промышленности не ставила перед гидравликой задач, требующих разрешения. Только с зарождением капитализма появилась необходимость в развитии гидравлики быстрыми темпами.

В конце XV в. Леонардо да Винчи (1452—1519 гг.) написал труд «О движении воды в речных сооружениях». Он первый установил понятие сопротивления движению твердых тел в жидкостях и газах и положил начало экспериментальной гидравлике, поставив лабораторные опыты. В 1586 г. Симон Стевин (1548—1620 гг.) опубликовал книгу «Начала гидростатики», в которой дал правила определения силы давления жидкости на дно и стенки сосудов. В 1612 г. появился трактат Галилео Галилея (1564—1642 гг.) «Рассуждение о телах, пребывающих в воде, и тех, которые в ней движутся». В 1643 г. ученик Г. Галилея Эванджелиста Торричелли (1608—1647 гг.) установил закон вытекания жидкости из отверстия в сосуде. В 1663 г. был опубликован установленный Блезом Паскалем (1623—1662 гг.) закон о передаче внешнего давления в жидкости. В 1687 г. Исаак Нью-

Раздел 1. ОСНОВЫ ГИДРАВЛИКИ

Глава 1. Основные физические свойства жидкостей

1.1. Определение жидкостей.

Плотность и удельный вес жидкостей

Жидкость — агрегатное состояние вещества, промежуточное между твердым и газообразным состояниями. Жидкость, сохраняя отдельные черты как твердого тела, так и газа, обладает рядом особенностей, из которых наиболее характерная — текучесть. Подобно твердому телу, жидкость сохраняет свой объем, имеет свободную поверхность, обладает определенной прочностью на разрыв при всестороннем растяжении и т.д. С другой стороны, взятая в достаточном количестве жидкость принимает форму сосуда, в котором находится. Принципиальная возможность непрерывного перехода жидкости в газ также свидетельствует о близости жидкого и газообразного состояний.

Наличие в жидкостях сильного межмолекулярного взаимодействия обуславливает существование поверхностного натяжения жидкости на ее границе с любой другой средой, что заставляет ее принять такую форму, при которой ее поверхность минимальна. Небольшие объемы жидкости обычно имеют форму капли. В силу этого жидкости в гидравлике называют капельными. При соприкосновении жидкости с твердыми телами или другими несмешивающимися жидкостями возникают капиллярные явления.

Основными физическими свойствами жидкости являются: текучесть, испарение, кипение.

Текучесть — смещение жидкости в направлении действия силы. Жидкости отличаются сильным межмолекулярным взаимодействием и малой сжимаемостью вследствие больших сил межмолекулярного отталкивания.

Испарение — процесс парообразования, происходящий со свободной поверхности жидкости. Испарение происходит при любой температуре и увеличивается при ее повышении. Испарение объясняется вылетом из поверхностного слоя жидкости молекул, обладающих наибольшей скоростью и кинетической энергией, так что в результате испарения жидкость охлаждается.

Кипение — процесс интенсивного испарения жидкости по всему объему жидкости внутри образующихся пузырьков пара. Температура, при которой давление ее насыщенного пара равно внешнему давлению, называется температурой, или **точкой кипения**.

Глава 2. Основы гидростатики

2.1. Гидростатическое давление и его свойства

Рассмотрим площадку $\Delta\omega$, на которую действует сила ΔP (рис. 2.1).

Отношение $p = \frac{\Delta P}{\Delta\omega}$ представляет собой «напряжение», т.е. силу, приходящуюся на единицу площади. Так как при равновесии жидкости ΔP является сжимающей силой, то p представляет собой среднее для данной площадки напряжение сжатия, которое называют средним гидростатическим давлением на площадке. Для получения точного значения p в данной точке определим предел этого отношения при $\Delta\omega \rightarrow 0$, который определяет гидростатическое давление в данной точке:

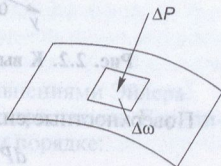


Рис. 2.1. К определению гидростатического давления

$$p = \lim_{\Delta\omega \rightarrow 0} \frac{\Delta P}{\Delta\omega}, \text{ Па.}$$

Гидростатическое давление в данной точке всегда нормально к площадке, на которую оно действует, и не зависит от ориентации (угла наклона) площадки. Гидростатическое давление зависит от положения рассматриваемой точки внутри жидкости и от внешнего давления, приложенного к свободной поверхности жидкости.

2.2. Общие дифференциальные уравнения равновесия жидкости

Уравнение Эйлера. Выберем внутри покоящейся жидкости параллелепипед с ребрами, расположенными параллельно координатным осям $0x$, $0y$ и $0z$ (рис. 2.2) и равными соответственно dx , dy и dz . Со стороны окружающей жидкости на выделенный параллелепипед действуют поверхностные силы, определяемые гидростатическим давлением, а также массовые силы, пропорциональные его массе. Составим уравнения равновесия этого параллелепипеда в виде уравнений проекций сил на координатные оси.

Проектируя силы на ось $0x$, согласно рис. 2.2 имеем

$$dP - dP' + dG_x = 0.$$

Определим каждое из слагаемых.

Глава 3. Основные законы движения жидкости

3.1. Основные понятия движения жидкости

В гидравлике выделяют следующие виды движения жидкости: установившееся и неустановившееся.

Установившееся движение жидкости — такое движение, при котором все характеристики движения являются постоянными и не меняются во времени.

В гидравлике, по аналогии с другими науками, вводятся некоторые идеальные схемы и модели, в частности, заменяющие реальный поток жидкости. Существенно важным является понятие о струйчатой структуре течения жидкости, в соответствии с которым поток представляется как совокупность элементарных струек, вплотную прилегающих друг к другу и образующих сплошную массу движущейся жидкости.

Изучив законы движения элементарной струйки, переходят к изучению основных законов движения всего потока в целом.

Линия тока и элементарная струйка. *Линией тока* называется линия, проходящая через последовательно движущиеся одна за другой частицы жидкости, векторы скоростей v которых направлены по касательным к этой линии $M-M$ (рис. 3.1).

Две различные линии тока не пересекаются между собой.

Элементарной стружкой называется струйка, боковая поверхность которой образована линиями тока, проходящими через точки очень малого (в пределе — бесконечно малого) замкнутого контура. Таким образом, эта струйка оказывается изолированной от окружающей ее массы жидкости и имеет малую площадь поперечного сечения $\Delta\omega$ (в пределе — $d\omega$), которая может меняться по длине. Длина этой струйки неограничена. Боковая поверхность струйки непроницаема для жидкости, т.е. ее можно представить в виде трубки, внутри которой течет жидкость.

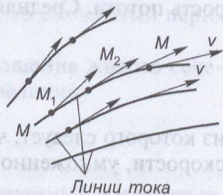


Рис. 3.1. Линии тока в жидкости

3.2. Расход и средняя скорость жидкости

Пусть в некотором поперечном сечении элементарной струйки скорость равна v . За время dt частицы жидкости переместят-

Глава 4. Гидравлические сопротивления

4.1. Виды гидравлических сопротивлений

При движении жидкости в трубе между нею и стенками трубы возникают дополнительные силы сопротивления, в результате чего частицы жидкости, прилегающие к поверхности трубы, тормозятся. Это торможение благодаря вязкости жидкости передается следующим слоям, причем скорость движения частиц по мере удаления их от оси трубы постепенно уменьшается. Противодействующая сил сопротивления T направлена в сторону, противоположную движению, и параллельна направлению движения. Это и есть силы гидравлического трения (сопротивления гидравлического трения).

Для преодоления сопротивления трения и поддержания равномерного поступательного движения жидкости необходимо, чтобы на жидкость действовала сила, направленная в сторону ее движения и равная силе сопротивления, т.е. необходимо затрачивать энергию. Энергию или напор, необходимые для преодоления сил сопротивления, называют потеряннй энергией или потеряннм напором.

Потери напора, затрачиваемые на преодоление сопротивления трения, носят название потерь напора на трение или потерь напора по длине потока (линейные потери напора) и обозначают через $h_{\text{тр}}$.

Однако трение является не единственной возможной причиной, вызывающей потери напора; резкие изменения сечения также оказывают сопротивление движению жидкости (так называемое сопротивление формы) и вызывают потери энергии. Существуют и другие причины, вызывающие потери напора, например внезапное изменение направления движения жидкости. Потери напора, вызываемые резким изменением конфигурации границ потока (затрачиваемые на преодоление сопротивления формы), называют местными потерями напора или потерями напора на местные сопротивления и обозначают через $h_{\text{м}}$.

Таким образом, потери напора при движении жидкости складываются из потерь напора на трение и потерь на местные сопротивления, т.е.

$$h_{\omega} = h_{\text{тр}} + h_{\text{м}}$$

Раздел 2. Основы теплотехники

Глава 8. Рабочее тело и основные законы идеального газа

8.1. Рабочее тело и параметры его состояния

Применение законов термодинамики к процессам взаимного превращения тепловой и механической энергии, рассматриваемым в технической термодинамике, позволяет осуществить полный термодинамический анализ реальных процессов. При этом из совокупности всех участвующих в процессе тел выделяется рабочее тело, а остальные рассматриваются как источники и поглотители тепловой энергии. В качестве рабочего тела используются газы и пары. Это объясняется тем, что они имеют большие коэффициенты теплового расширения и могут при нагревании совершать гораздо большую работу, чем жидкости и твердые тела.

Молекулы любого вещества, взаимодействуя друг с другом, находятся в непрерывном движении. Межмолекулярные силы взаимодействия и расстояния между молекулами определяют агрегатное состояние вещества. Силы взаимодействия между молекулами газа, расстояние между которыми значительно больше их размеров, существенно меньше сил межмолекулярных в твердых и жидких телах. Поэтому любое количество газа заполняет весь объем, в который его помещают. Эта способность газа подтверждает, что его молекулы находятся в постоянном хаотическом движении.

Упрощенной моделью газообразного вещества является так называемый идеальный газ, у которого объем, занимаемый молекулами, мал по сравнению с общим объемом газа, и сами молекулы рассматриваются как материальные точки, равномерно распределенные в объеме. Силами межмолекулярного взаимодействия в этом случае можно пренебречь.

Однако такого газа в природе не существует. Предложенная модель отражает свойства реальных газов лишь приближенно, но изучение ее законов помогает определить поведение реального газа в различных условиях. Степень расхождения свойств идеального и реального газов зависит от условий, в частности от давления и температуры. Газовые законы наиболее просто формулируются для идеального газа.

Раздел 3. Основы аэродинамики

Законы движения жидкостей и газов во многом одинаковы и, как было отмечено в введении, в силу исторического развития гидравлика составляет основу аэродинамики. Однако, кроме общих законов движения жидкостей и газов, существуют законы, свойственные только газам или только капельной жидкости. Их отличие существенно, когда газ движется с большой скоростью (близкой или большей скорости распространения звука), когда газ разрежен (например, в атмосфере на большой высоте), когда он ионизирован (например, при высокой температуре) или когда пространство, занятое газом, имеет большую протяженность.

В системах вентиляции и кондиционирования воздуха скорости движения воздуха небольшие, поэтому для таких систем остаются в силе основные законы и положения, изложенные в разделе 1 «Основы гидравлики».

Многие положения аэродинамики базируются на основных законах термодинамики, изложенных в разделе 2 «Основы теплотехники» (идеальные газы, изменение состояния газа, энтальпия и др.)

Глава 12. Основные законы аэродинамики

12.1. Закон сохранения массы. Уравнение расхода

При рассмотрении основных законов движения капельной жидкости было получено уравнение сохранения объемного расхода в предположении несжимаемости жидкости (формула (3.2)). Для потока газа будут выполняться условия сохранения массового Q_p и весового Q_γ расходов. Массовым расходом Q_p будем называть массу газа, протекающего через поперечное сечение потока в единицу времени.

Весовым расходом Q_γ будем называть вес газа, протекающего через поперечное сечение потока в единицу времени.

Тогда согласно результатам п. 3.2 запишем условия сохранения массы газа в виде:

$$Q_p = \rho v \omega = \text{const}; \quad Q_\gamma = \gamma v \omega = \text{const}. \quad (12.1)$$

Глава 13. Аэродинамический расчет воздухопроводов и газопроводов

13.1. Каналы и воздухопроводы естественной вентиляции

Канальными системами естественной вентиляции называются системы, в которых подача наружного воздуха или удаление загрязненного осуществляется по специальным каналам, предусмотренным в конструкциях здания, или приставным воздухопроводам. Воздух в этих системах перемещается вследствие разности давлений наружного и внутреннего воздуха.

Вытяжная естественная канальная вентиляция осуществляется преимущественно в жилых и общественных зданиях для помещений, не требующих воздухообмена больше однократного. В производственных зданиях естественную вентиляцию следует проектировать, если она обеспечит нормируемые условия воздушной среды в помещениях и если она допустима по технологическим требованиям.

Вытяжная естественная канальная вентиляция (рис. 13.1) состоит из вертикальных внутрискатных или приставных каналов с отверстиями, закрытыми жалюзийными решетками, сборных горизонтальных воздухопроводов и вытяжной шахты. Для усиления вытяжки воздуха из помещений на шахте часто устанавливают специальную насадку — дефлектор. Загрязненный воздух из помещений поступает через жалюзийную решетку в канал, поднимается вверх, достигая сборных воздухопроводов, и оттуда выходит через шахту в атмосферу.

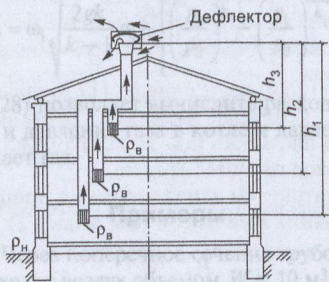


Рис. 13.1. Схема вытяжной естественной канальной вентиляции

Конец ознакомительного фрагмента

Уважаемый читатель!

**Размещение полного текста данного
произведения невозможно в связи с ограничениями
по IV части ГР РФ.**

**Эту книгу вы можете почитать в Оренбургской
областной универсальной научной библиотеке
им. Н. К. Крупской по адресу: г. Оренбург,
ул. Советская, 20; тел. для справок: (3532) 60-61-28**