

А.А. Шейпак

ГИДРАВЛИКА И ГИДРОПНЕВМОПРИВОД

Основы механики
жидкости и газа



У Ч Е Б Н И К



СРЕДНЕЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

Серия основана в 2001 году

А.А. ШЕЙПАК

ГИДРАВЛИКА И ГИДРОПНЕВМОПРИВОД

ОСНОВЫ МЕХАНИКИ ЖИДКОСТИ И ГАЗА

УЧЕБНИК

6-е издание, исправленное и дополненное

*Рекомендовано
Учебно-методическим советом СПО
в качестве учебника для студентов учебных заведений,
реализующих программу среднего профессионального
образования по укрупненной группе специальностей
15.02.00 «Машиностроение»*

**Электронно-
Библиотечная**

znanium.com

Москва
ИНФРА-М
2021

УДК 62-822(075.32)
ББК 30.123я723
ШЗ9

ФЗ Издание не подлежит маркировке
№ 436-ФЗ в соответствии с п. 1 ч. 4 ст. 11

Рецензенты:

Штеренлихт Л.В. — профессор Московского государственного университета природообустройства;

Беленков Ю.А. — профессор Московского государственного технического университета

Шейпак А.А.

ШЗ9 Гидравлика и гидропневмопривод. Основы механики жидкости и газа : учебник / А.А. Шейпак. — 6-е изд., испр. и доп. — Москва : ИНФРА-М, 2021. — 270 с. — (Среднее профессиональное образование).

ISBN 978-5-16-013908-1 (print)

ISBN 978-5-16-108886-9 (online)

Учебник включает все основные положения по механике жидкости и газа (гидравлике). Освещены основные вопросы технической гидромеханики, изучающей законы, условия равновесия и движения жидкостей, а также способы применения этих законов для решения практических задач. Главы 16–19 предназначены в основном для самостоятельной работы и расширения кругозора читателя.

Для студентов учреждений среднего профессионального образования, обучающихся по машиностроительным специальностям, может быть полезен студентам вузов.

УДК 62-822(075.32)
ББК 30.123я723

ISBN 978-5-16-013908-1 (print)
ISBN 978-5-16-108886-9 (online)

© Шейпак А.А., 2019

ООО «Научно-издательский центр ИНФРА-М»
127214, Москва, ул. Полярная, д. 31В, стр. 1
Тел.: (495) 280-15-96, 280-33-86. Факс: (495) 280-36-29
E-mail: books@infra-m.ru <http://www.infra-m.ru>

Подписано в печать 11.09.2020.
Формат 60×90/16. Бумага офсетная. Гарнитура Newton.
Печать цифровая. Усл. печ. л. 16,88.
ППТ20. Заказ № 08213
ТК 682854-1190696-140119

Отпечатано в типографии ООО «Научно-издательский центр ИНФРА-М»
127214, Москва, ул. Полярная, д. 31В, стр. 1
Тел.: (495) 280-15-96, 280-33-86. Факс: (495) 280-36-29

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. ВВОДНЫЕ СВЕДЕНИЯ	4
2. ОСНОВНЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ	9
2.1 Жидкости и газы. Гипотеза сплошности	9
2.2 Термическое уравнение состояния.....	13
2.3. Вязкость.....	16
2.4. Растворимость газов в жидкостях.....	18
2.5. Теплопроводность.....	18
2.6. Теплоемкость	19
2.7. Поверхностные явления.....	19
2.8. Испарение, кипение, кавитация.....	22
2.9. Особые свойства воды.....	24
2.10. Газ как рабочее тело пневмопривода	27
3. ОСНОВЫ КИНЕМАТИКИ	29
3.1. Основные понятия.....	29
3.2. Уравнение неразрывности (сплошности) в дифференциальной форме.....	36
3.3. Уравнение неразрывности в гидравлической форме.....	38
3.4. Основные теоремы кинематики жидкости.....	40
3.5. Плоские потоки несжимаемой жидкости. Функция тока	43
4. СИЛЫ, ДЕЙСТВУЮЩИЕ В ЖИДКОСТЯХ.....	45
4.1. Напряжения поверхностных сил	45
4.2. Давление абсолютное, избыточное, вакуумметрическое.....	47
4.3. Несколько задач.....	49
5. ОБЩИЕ ЗАКОНЫ И УРАВНЕНИЯ СТАТИКИ И ДИНАМИКИ ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ	51
5.1. Уравнение движения жидкости в напряжениях	51
5.2. Дифференциальные уравнения Эйлера для покоящейся жидкости.....	52
5.3. Уравнения Навье-Стокса	58
5.4. Некоторые точные решения уравнения Навье-Стокса.....	60
5.5. Уравнение движения Рейнольдса для турбулентного режима течения вязкой жидкости	68

6	АБСОЛЮТНЫЙ И ОТНОСИТЕЛЬНЫЙ ПОКОЙ (РАВНОВЕСИЕ) ЖИДКИХ СРЕД	71
6.1.	Основной закон гидростатики.....	71
6.2.	Закон Архимеда	72
6.3.	Равновесие жидкости в сосуде, движущемся прямолинейно с постоянным ускорением	73
6.4.	Сила давления жидкости на плоскую стенку. Центр давления	74
6.5.	Задачи	75
7.	МОДЕЛЬ ИДЕАЛЬНОЙ (НЕВЯЗКОЙ) ЖИДКОСТИ	78
7.1.	Уравнение движения идеальной жидкости в форме Эйлера	78
7.2.	Уравнение идеальной жидкости в форме Громека – Ламба	80
7.3.	Интегралы уравнений движения идеальной жидкости	81
7.4.	Гидродинамический парадокс Эйлера—Д’аламбера	87
8.	ОБЩЕЕ УРАВНЕНИЕ ЭНЕРГИИ В ИНТЕГРАЛЬНОЙ И ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ФОРМАХ	89
9.	ОБЩАЯ ИНТЕГРАЛЬНАЯ ФОРМА УРАВНЕНИЙ КОЛИЧЕСТВА ДВИЖЕНИЯ И МОМЕНТА КОЛИЧЕСТВА ДВИЖЕНИЯ	91
9.1.	Основные сведения	91
9.2.	Применение закона импульса и закона момента импульса в механике жидкости.....	91
9.3.	Определение силы, действующей на стенки диффузора и конфузора.....	95
10.	ПОДОБИЕ ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ	97
10.1	Анализ размерностей и π -теорема	97
10.2	Метод подобия	102
10.3	Фракционный анализ основных уравнений и граничных условий.....	106
11.	ТУРБУЛЕНТНОСТЬ И ЕЕ ОСНОВНЫЕ СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ	111
11.1.	Основные сведения	111
11.2.	Применение теории размерности к описанию турбулентных течений	120
11.3.	$k - \epsilon$ модель турбулентности.....	122
12.	КОНЕЧНО-РАЗНОСТНЫЕ ФОРМЫ УРАВНЕНИЙ НАВЬЕ-СТОКСА И РЕЙНОЛЬДСА	124
12.1.	Основные сведения	124
12.2.	Обзор основных методов получения дискретных аналогов	126

13. ОБЩАЯСХЕМА ПРИМЕНЕНИЯ ЧИСЛЕННЫХ МЕТОДОВ И ИХ РЕАЛИЗАЦИЯ НА ЭВМ	130
13.1. Основные сведения	130
13.2. Примеры расчетов	134
13.3. Заключение по разделу	138
14. ОДНОМЕРНЫЕ ПОТОКИ ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ	140
14.1. Одномерная модель реальных потоков.....	140
14.2. Уравнение Бернулли для потока вязкой жидкости	142
14.3. Общие сведения о гидравлических потерях.....	144
14.4. Истечение жидкости из насадков и отверстий при постоянном напоре	147
14.5. Истечение жидкости при переменном напоре (опорожнение сосуда)	157
14.6. Разгон жидкости.....	159
14.7. Гидравлический удар	164
14.8. Волновое уравнение для потока жидкости.....	167
14.9. Истечение газа из резервуара.....	168
14.10. Математическая модель реального газа для расчета систем подачи энергетических машин.....	183
14.11. Задачи	192
15. РАСЧЕТ ТРУБОПРОВОДОВ.....	198
15.1. Гидравлический расчет трубопроводов при установившемся движении.....	198
15.2. Гидравлический расчет трубопроводов при неустановившемся движении.....	210
15.3. Задачи	214
16. ТЕЧЕНИЕ ЖИДКОСТИ В ЗАЗОРАХ МАШИН И АППАРАТОВ	219
16.1. Гидромеханическая модель опорного подшипника	219
16.2. Плоский клиновидный слой смазки	221
16.3. Основные сведения по работе цилиндрического подшипника скольжения	224
16.4. Поток утечек через неподвижное уплотнение.....	225
16.5. Течение жидкости с вязкостью, зависящей от давления	229
16.6. Течение в зазорах с облитерацией	231
16.7. Щелевое уплотнение со стохастической геометрией	244
17. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ГИДРАВЛИЧЕСКИХ И ПНЕВМАТИЧЕСКИХ МАШИНАХ.....	246
18. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ГИДРАВЛИЧЕСКИХ И ПНЕВМАТИЧЕСКИХ ПРИВОДАХ.....	251

19. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ТЕЧЕНИИ БЕЗНАПОРНЫХ ПОТОКОВ	254
19.1. Основные понятия и определения	254
19.2. Установившееся плавно изменяющееся течение	255
19.3. Фильтрация жидкости.....	259
ОБОЗНАЧЕНИЯ.....	261
ЛИТЕРАТУРА	264