

Н. М. Вайсман
В. А. Голиков
А. А. Жарковский

МЕХАНИКА ЖИДКОСТИ И ГАЗА ГИДРАВЛИКА

Учебное пособие



 **Издательство**
Политехнического университета

Санкт-Петербург
2016

Министерство образования и науки Российской Федерации

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ПЕТРА ВЕЛИКОГО

Н. М. Вайсман В. А. Голиков А. А. Жарковский

МЕХАНИКА ЖИДКОСТИ И ГАЗА ГИДРАВЛИКА

Рекомендовано федеральным учебно-методическим объединением в системе высшего образования по укрупненной группе специальностей и направлений подготовки 15.00.00 «Машиностроение» в качестве учебного пособия для обучающихся по основным профессиональным образовательным программам высшего образования направлений подготовки бакалавриата 15.03.01 «Машиностроение» и 15.03.02 «Технологические машины и оборудование»



Санкт-Петербург
2016

УДК 532:533 (075.8)

ББК 22.253я73

В14

Рецензенты:

Заслуженный работник высшей школы РФ, доктор технических наук,
профессор Омского государственного технического университета

В. Е. Щерба

Доктор технических наук, профессор Санкт-Петербургского
политехнического университета Петра Великого *А. Н. Скляревский*

Вайсман Н. М. Механика жидкости и газа. Гидравлика : учеб. пособие /
Н. М. Вайсман, В. А. Голиков, А. А. Жарковский. — СПб. : Изд-во По-
литехн. ун-та, 2016. — 222 с.

Учебное пособие соответствует государственному образовательному стандарту подготовки бакалавров по направлению 15.03.02 «Технологические машины и оборудование», а также направлению подготовки аспирантов 15.06.01 «Машиностроение», направленность 15.06.01_12 «Гидравлические машины и гидропневмоагрегаты» (научная специальность 05.04.13 «Гидравлические машины и гидропневмоагрегаты»).

Рассмотрены основные законы и уравнения гидравлики, охватывающие разделы физических свойств, гидростатики, кинематики и динамики жидкостей, гидродинамического подобия и особых случаев течения.

Изложены основные вопросы, направленные на приобретение студентами теоретических знаний, компетенций и практических навыков исследования процессов, протекающих в жидких средах, с ориентацией на лопастные гидромашины, гидравлические и пневматические приводы.

Предназначено для студентов Института энергетики и транспортных систем, изучающих курсы «Механика жидкости и газа» и «Гидравлика» по профилю 13.03.03_05 «Гидравлические машины, гидроприводы и гидропневмоавтоматика» и другим профилям направления 13.03.03 «Энергетическое машиностроение», связанным с механикой жидкости и лопастными турбомашинами.

Табл. 11 . Ил. 127 . Библиогр.: 25 назв.

Печатается по решению

Совета по издательской деятельности Ученого совета
Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого.

© Вайсман Н. М., Голиков В. А.,
Жарковский А. А., 2016

© Санкт-Петербургский политехнический
университет Петра Великого, 2016

ISBN 978-5-7422-5262-7

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	7
Принятые обозначения.....	8
ВВЕДЕНИЕ.....	10
ГЛАВА 1. ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЖИДКОСТЕЙ.....	11
1.1. Молекулярная структура рабочих сред.....	11
1.2. Силы, действующие в жидкости.....	13
1.3. Характеристики и свойства рабочих жидкостей.....	17
1.3.1. Уравнение состояния и объёмные деформации.....	17
1.3.2. Сжимаемость жидкости и модуль объёмной упругости.....	20
1.3.3. Плотность сплошной среды.....	22
1.3.4. Вязкость рабочих жидкостей.....	23
1.3.5. Поверхностное натяжение.....	28
1.3.6. Растворимость газов в жидкостях.....	30
ГЛАВА 2. ГИДРОСТАТИКА.....	31
2.1. Свойства гидростатического давления.....	32
2.2. Дифференциальное уравнение равновесия жидкости (уравнения равновесия Эйлера).....	35
2.3. Основное уравнение гидростатики.....	39
2.3.1. Давление в произвольной точке покоящейся жидкости.....	41
2.3.2. Гидростатический напор.....	44
2.3.3. Сила гидростатического давления.....	47
2.3.4. Гидростатический парадокс.....	49
2.3.5. Центр гидростатического давления на плоскую поверхность.....	50
2.3.6. Сила гидростатического давления на криволинейную поверхность.....	52
2.4. Относительный покой жидкости.....	55
2.4.1. Равномерное прямолинейное движение сосуда.....	56
2.4.2. Равноускоренное прямолинейное движение сосуда.....	57
2.4.3. Равномерное вращение сосуда вокруг вертикальной оси.....	59
2.4.4. Равномерное вращение сосуда вокруг горизонтальной оси.....	63
ГЛАВА 3. ГИДРОДИНАМИКА.....	66
3.1. Основные понятия и определения.....	66

3.2. Режимы движения жидкости.....	70
3.3. Уравнения движения идеальной жидкости (уравнения Эйлера).....	73
3.4. Уравнения движения Эйлера в естественной системе координат.....	77
3.5. Уравнение Бернулли для элементарной струйки при установившемся абсолютном движении	79
3.6. Физический смысл уравнения Бернулли.....	80
3.7. Уравнение Бернулли для элементарной струйки при неустановившемся движении.....	82
3.8. Уравнение Бернулли для элементарной струйки при установившемся относительном движении.....	83
3.9. Уравнение Бернулли для элементарной струйки вязкой жидкости.....	89
3.9.1. Установившееся абсолютное движение.....	89
3.9.2. Неустановившееся абсолютное движение.....	90
3.9.3. Установившееся относительное движение.....	91
3.10. Характеристики потока жидкости.....	91
3.11. Уравнение неразрывности для потока жидкости.....	93
3.12. Мощность потока при установившемся движении.....	94
3.13. Коэффициент Кориолиса.....	97
3.14. Инерционная мощность потока	99
3.15. Уравнение Бернулли для потока реальной жидкости	102
ГЛАВА 4. ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ.....	105
4.1. Подобие потоков жидкости.....	106
4.1.1. Геометрическое подобие.....	106
4.1.2. Кинематическое подобие.....	107
4.1.3. Динамическое подобие.....	108
4.2. Классификация гидравлических сопротивлений.....	111
4.3. Потери на трение при равномерном ламинарном движении в трубе.....	112
4.3.1. Дифференциальное уравнение ламинарного движения.....	112
4.3.2. Закон распределения скоростей в поперечном сечении трубы.....	114

4.3.3. Расход жидкости в круглой трубе	115
4.3.4. Формирование равномерного ламинарного движения в трубе.....	117
4.3.5. Потери напора на гидравлическое трение.....	118
4.3.6. Ламинарное движение жидкости между двумя соосными неподвижными цилиндрами.....	120
4.3.7. Закон изменения напряжения трения в круглой трубе.....	125
4.4. Потери на трение при турбулентном напорном движении в круглой трубе.....	126
4.4.1. Дифференциальное уравнение турбулентного движения.....	126
4.4.2. Закон распределения скоростей при турбулентном движении.....	130
4.4.3. Потери напора на гидравлическое трение при турбулентном движении.....	135
4.4.4. График Никурадзе.....	142
ГЛАВА 5. МЕСТНЫЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ.....	145
5.1. Местные сопротивления и принцип наложения потерь.....	145
5.2. Потери напора при внезапном расширении.....	149
5.3. Теорема Борда-Карно.....	152
5.4. Потери энергии при внезапном сужении потока.....	156
5.5. Потери энергии в диафрагмах.....	159
5.6. Постепенное расширение потока. Диффузорные потери.....	160
5.7. Постепенное сужение потока. Конфузорные потери.....	165
5.8. Потери удельной энергии при повороте потока.....	167
5.9. Дросселирующие устройства.....	171
ГЛАВА 6. ИСТЕЧЕНИЕ ЖИДКОСТИ ЧЕРЕЗ ОТВЕРСТИЯ И НАСАДКИ.....	175
6.1. Истечение через малое отверстие при постоянном напоре.....	175
6.2. Истечение через насадки при постоянном напоре.....	179
ГЛАВА 7. РАСЧЕТ ТРУБОПРОВОДОВ.....	182
7.1. Классификация трубопроводов.....	182

7.2. Расчет простого короткого трубопровода постоянного сечения.....	184
7.3. Расчет простого короткого трубопровода переменного сечения.....	189
7.4. Расчет сифонного трубопровода.....	190
7.5. Расчет простого трубопровода, соединяющего резервуары.....	193
7.6. Определение давления в произвольной точке трубопровода.....	194
7.7. Графоаналитический метод расчета простого трубопровода.....	195
7.8. Расчет сложного разветвленного трубопровода.....	196
7.9. Графоаналитический метод расчета разветвленного трубопровода.....	199
7.10. Расчет длинных трубопроводов (водопроводные линии).....	201
7.10.1. Основы расчета длинных трубопроводов.....	201
7.10.2. Последовательное соединение трубопроводов.....	205
7.10.3. Последовательно-параллельное соединение трубопроводов.....	206
ГЛАВА 8. ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ УДАР В ТРУБОПРОВОДАХ.....	208
8.1. Явление гидравлического удара.....	208
8.2. Формула Н.Е. Жуковского.....	214
Список литературы.....	225