

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 |