

Ю. Л. Курбатов, А. Б. Бирюков,
Е. В. Новикова, А. А. Заика

МЕХАНИКА ЖИДКОСТИ И ГАЗА В ПРОМЫШЛЕННОЙ ТЕПЛОТЕХНИКЕ И ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ



МЕХАНИКА ЖИДКОСТИ И ГАЗА В ПРОМЫШЛЕННОЙ ТЕПЛОТЕХНИКЕ И ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ

Учебное пособие

Москва Вологда
«Инфра-Инженерия»
2021

УДК 621.1:532(075.8)
ББК 31.391:22.253я73
М55

Авторы:

*Ю. Л. Курбатов, А. Б. Бирюков,
Е. В. Новикова, А. А. Заика*

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой физики неравновесных процессов, метрологии и экологии ГОУ ВПО «ДонНУ» *Белусов В. В.*;
доктор технических наук, заведующий кафедрой промышленной теплоэнергетики ГОУ ВПО «ДонНТУ» *Сафьянц С. М.*

М55 **Механика жидкости и газа в промышленной теплотехнике и теплоэнергетике** : учебное пособие / [Ю. Л. Курбатов и др.]. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2021. – 256 с.
ISBN 978-5-9729-0731-1

Изложены вопросы теории статики, кинематики и динамики жидкостей. Рассмотрена методика основных гидрогазодинамических расчетов в применении к процессам и установкам теплоэнергетики и теплотехники. Приведен справочный материал по физическим свойствам жидкостей и газов, гидравлическим сопротивлениям. Даны методики и примеры расчетов.

Для студентов металлургических и теплоэнергетических направлений подготовки. Издание может быть полезно специалистам в области металлургии, теплотехники и теплоэнергетики.

УДК 621.1:532(075.8)
ББК 31.391:22.253я73

ISBN 978-5-9729-0731-1

© Издательство «Инфра-Инженерия», 2021

© Оформление. Издательство «Инфра-Инженерия», 2021

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
----------------------	----------

ЧАСТЬ I. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕХАНИКИ ЖИДКОСТИ И ГАЗА

ГЛАВА. 1 ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ.....	7
---------------------------------------	----------

ГЛАВА 2. РАВНОВЕСИЕ ЖИДКОСТИ (СТАТИКА).....	12
----------------------------------------------------	-----------

2.1 Условие равновесия	12
2.2 УРАВНЕНИЕ РАВНОВЕСИЯ ЭЙЛЕРА. ОСНОВНОЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЕ УРАВНЕНИЕ ГИДРОСТАТИКИ.....	15
2.3 РАВНОВЕСИЕ НЕСЖИМАЕМОЙ ЖИДКОСТИ ПОД ДЕЙСТВИЕМ СИЛ ТЯЖЕСТИ.....	18
2.4 РАВНОВЕСИЕ НЕСЖИМАЕМОЙ ЖИДКОСТИ ПРИ НАЛИЧИИ НЕГРАВИТАЦИОННЫХ МАССОВЫХ СИЛ.....	19
2.5 УРАВНЕНИЯ ГИДРОСТАТИКИ ДЛЯ СЖИМАЕМЫХ СРЕД.....	21
2.6 СТАТИКА ДВУХ ГАЗОВ. ДЫМОВАЯ ТРУБА	24
2.7 ДАВЛЕНИЕ ЖИДКОСТИ НА ПЛОСКИЕ И КРИВОЛИНЕЙНЫЕ СТЕНКИ. ЗАКОН АРХИМЕДА	30

ГЛАВА 3. КИНЕМАТИКА... ..	34
----------------------------------	-----------

3.1 ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ. ДВА МЕТОДА ИССЛЕДОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ.....	34
3.2 ПОЛЕ СКОРОСТЕЙ И УСКОРЕНИЙ.....	35
3.3 ЛИНИЯ ТОКА, ТРУБКА ТОКА, ТРАЕКТОРИЯ	38
3.4 УРАВНЕНИЕ НЕРАЗРЫВНОСТИ ИЛИ СПЛОШНОСТИ (УРАВНЕНИЕ РАСХОДА)	41
3.5 ВИХРЕВОЕ ДВИЖЕНИЕ	45

ГЛАВА 4. ДИНАМИКА. ОСНОВНЫЕ УРАВНЕНИЯ	47
----------------------------------------------------	-----------

4.1 ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЕ УРАВНЕНИЕ ДВИЖЕНИЯ НЕСЖИМАЕМОЙ ИДЕАЛЬНОЙ (НЕВЯЗКОЙ) ЖИДКОСТИ (УРАВНЕНИЕ ДВИЖЕНИЯ ЭЙЛЕРА)	47
4.2 ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЕ УРАВНЕНИЕ ДВИЖЕНИЯ НЕСЖИМАЕМОЙ РЕАЛЬНОЙ (ВЯЗКОЙ) ЖИДКОСТИ (УРАВНЕНИЕ НАВЬЕ – СТОКСА)	50

4.3	УРАВНЕНИЕ НАВЬЕ – СТОКСА ДЛЯ СЖИМАЕМОЙ ЖИДКОСТИ	52
4.4	УРАВНЕНИЕ БЕРНУЛЛИ ДЛЯ ИДЕАЛЬНОЙ НЕСЖИМАЕМОЙ ЖИДКОСТИ	52

ЧАСТЬ II. ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ МЕХАНИКИ ЖИДКОСТИ

ГЛАВА 5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕРЬ ДАВЛЕНИЯ В ГИДРОГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ	59	
5.1	УРАВНЕНИЕ Д. БЕРНУЛЛИ ДЛЯ ПОТОКА РЕАЛЬНОЙ ЖИДКОСТИ	59
5.2	ПОТЕРИ НА ТРЕНИЕ В ПОТОКЕ НЕСЖИМАЕМОЙ ЖИДКОСТИ.....	61
5.3	ПОТЕРИ НА ТРЕНИЕ В ПОТОКЕ СЖИМАЕМЫХ ЖИДКОСТЕЙ (ГАЗОВ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ)	62
5.4	КОЭФФИЦИЕНТ ТРЕНИЯ.....	65
5.5	ПОТЕРИ НА МЕСТНЫЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ	70
5.6	ГИДРОСТАТИЧЕСКИЕ ПОТЕРИ (ПОТЕРИ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ).....	78
5.7	БЕЗНАПОРНОЕ ДВИЖЕНИЕ ЖИДКОСТИ В ОТКРЫТЫХ РУСЛАХ	80
5.8	РАСЧЕТЫ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ	81
ГЛАВА 6. ИСТЕЧЕНИЕ ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ.....	85	
6.1	ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ.....	85
6.2	ИСТЕЧЕНИЕ НЕСЖИМАЕМЫХ СРЕД ЧЕРЕЗ ОТВЕРСТИЯ И НАСАДКИ	86
6.3	ИСТЕЧЕНИЕ СЖИМАЕМЫХ ЖИДКОСТЕЙ (ГАЗОВ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ).....	89
6.4	ИСТЕЧЕНИЕ КАПЕЛЬНОЙ ЖИДКОСТИ ПОД УРОВЕНЬ	92
6.5	ИСТЕЧЕНИЕ КАПЕЛЬНОЙ ЖИДКОСТИ ПРИ ПЕРЕМЕННОМ УРОВНЕ	93
ГЛАВА 7. ИЗМЕРЕНИЕ СКОРОСТИ И РАСХОДА	95	
7.1	ДРОССЕЛЬНЫЕ РАСХОДОМЕРЫ И ТРУБА ВЕНТУРИ	95
7.2	ТРУБКИ СКОРОСТНОГО НАПОРА	96
7.3	ВОДОСЛИВ	98
ГЛАВА 8. КАВИТАЦИЯ И ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ УДАР.....	99	
ГЛАВА 9. СТРУЙНОЕ ДВИЖЕНИЕ	103	
9.1	ЭЛЕМЕНТЫ СТРУЙНОГО ДВИЖЕНИЯ.....	103
9.2	ПОНЯТИЕ О ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ.....	104
9.3	АЭРОДИНАМИКА СВОБОДНОЙ ЗАТОПЛЕННОЙ ТУРБУЛЕНТНОЙ СТРУИ.....	108
9.4	СТРУЯ, ВТЕКАЮЩАЯ В ПОЛОСТЬ. СТРУЙНЫЙ АППАРАТ	111
9.5	СТРУЯ ВО ВСТРЕЧНОМ И СПУТНОМ ПОТОКАХ	113
9.6	РАЗВИТИЕ СТРУЙ, ОГРАНИЧЕННЫХ ПОВЕРХНОСТЯМИ.....	114
9.7	ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ СВОБОДНЫХ СТРУЙ	116
9.8	СТРУИ В СНОСЯЩЕМ ПОТОКЕ. ВОЗДУШНЫЕ ЗАВЕСЫ	117
9.9	ОБТЕКАНИЕ ТВЕРДЫХ ТЕЛ ЖИДКОСТЬЮ	119

ГЛАВА 10. ДВИЖЕНИЕ МНОГОФАЗНЫХ СРЕД	124
10.1 Общие понятия.....	124
10.2 Движение пароводяных смесей	124
10.3 Контур естественной циркуляции	128
10.4 Основы расчета пневмотранспорта и гидротранспорта.....	132
10.5 Гидродинамика газожидкостных систем.....	137
ГЛАВА 11. ДВИЖЕНИЕ ГРУНТОВЫХ ВОД	156
11.1 Фильтрация. Теоретические основы	156
11.2 Водоразборные галереи и дренажные колодцы. Основы расчета дренажа	162
ГЛАВА 12. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ.....	167
12.1 Задачи исследований. Гидравлическое моделирование и теория подобия.....	167
12.2 Основы теории подобия.	169
12.3 Способы получения критериев подобия	171
12.4 Метод гидравлического моделирования	178
12.5 Расчет модели.	180
12.6 Технические примеры моделирования	184
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. КОЭФФИЦИЕНТЫ МЕСТНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ	187
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВОДЫ НА ЛИНИИ НАСЫЩЕНИЯ.....	209
ПРИЛОЖЕНИЕ 3. ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СУХОГО ВОЗДУХА ПРИ $v = 0,103$ МПа.....	211
ПРИЛОЖЕНИЕ 4. ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВОДЯНОГО ПАРА НА ЛИНИИ НАСЫЩЕНИЯ.....	212
ПРИЛОЖЕНИЕ 5. ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ ($P = 0,1$ МПа)	213
ПРИЛОЖЕНИЕ 6. ПРИМЕР РАСЧЕТА ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ НАГРЕВАТЕЛЬНОЙ ПЕЧИ	214
ПРИЛОЖЕНИЕ 7. РЕШЕНИЕ ТИПОВЫХ ЗАДАЧ	217
ПРИЛОЖЕНИЕ 8. ПРИМЕР РАСЧЕТА КОЛЬЦЕВОГО ГАЗОПРОВОДА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ	233
ПРИЛОЖЕНИЕ 9. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И СПИСОК ОСНОВНЫХ ФОРМУЛ МЕХАНИКИ ЖИДКОСТИ И ГАЗА.....	244
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	247