

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор *Д. В. Штеренлихт*, заведующий кафедрой,  
доктор технических наук, профессор *Н. В. Ханов*, профессор, кафедра гидравлики,  
ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет природообустройства»;  
кандидат технических наук *Н. К. Пономарев*, заведующий кафедрой,  
доктор технических наук, профессор *Б. А. Животовский*, профессор,  
кафедра гидравлики и гидротехнических сооружений,  
ФГБОУ ВПО «Российский университет дружбы народов»; доктор технических наук  
*В. В. Беликов*, начальник отдела численных гидравлических  
исследований ОАО «НИИЭС»  
Автор главы 12 «Движение двухфазных сред» *Л. В. Волгина*

391 **Зуйков, А. Л.**

Гидравлика [Электронный ресурс] : учебник : в 2 т. Т. 2. Напорные и открытые потоки. Гидравлика сооружений / М-во образования и науки Рос. Федерации, Моск. гос. строит. ун-т ; авт.: А. Л. Зуйков, Л. В. Волгина (гл. 12). — 2-е изд. (эл.). — Электрон. текстовые дан. (1 файл pdf : 426 с. : ил.). — М. : Издательство МИСИ—МГСУ, 2017. — Систем. требования: Adobe Reader XI либо Adobe Digital Editions 4.5 ; экран 10".

ISBN 978-5-7264-1663-2

ISBN 978-5-7264-1665-6 (т. 2)

Изложен соответствующий государственному образовательному стандарту высшего профессионального образования по направлению 270800 «Строительство» материал курса «Гидравлика напорных и открытых сечений» и «Гидравлика сооружений». Раскрыты основные законы равномерного, неравномерного и неустановившегося движения жидкости в напорных трубопроводах и открытых каналах. Рассмотрены методы гидравлического расчета основных гидротехнических сооружений.

Для студентов всех уровней, форм и профилей подготовки в высших учебных заведениях по направлению 270800 «Строительство», а также аспирантов, инженерно-технических и научных работников в области гидравлики и механики жидкости.

УДК 532:627.8  
ББК 30.123

**Деривативное электронное издание на основе печатного издания:** Гидравлика : учебник : в 2 т. / М-во образования и науки Рос. Федерации, Моск. гос. строит. ун-т ; авт.-сост.: А. Л. Зуйков, Л. В. Волгина (гл. 12). — М. : Издательство МИСИ—МГСУ, 2014—2015. — ISBN 978-5-7264-0833-0.

Т. 2 : Напорные и открытые потоки. Гидравлика сооружений. — М. : 2015. — 424 с. — ISBN 978-5-7264-1023-4 (т. 2).

**В соответствии со ст. 1299 и 1301 ГК РФ при устранении ограничений, установленных техническими средствами защиты авторских прав, правообладатель вправе требовать от нарушителя возмещения убытков или выплаты компенсации.**

ISBN 978-5-7264-1663-2

ISBN 978-5-7264-1665-6 (т. 2)

© ФГБОУ ВПО «МГСУ», 2015

# ОГЛАВЛЕНИЕ

## Часть 1. НАПОРНЫЕ И ОТКРЫТЫЕ ПОТОКИ

9. ДВИЖЕНИЕ ЖИДКОСТИ В НАПОРНЫХ ТРУБОПРОВОДАХ	7
9.1. Гидравлические потери в напорных водоводах	7
9.2. Установившееся движение жидкости в трубопроводах	14
9.2.1. Классификация трубопроводов. Задачи расчета	14
9.2.2. Расчет коротких трубопроводов	16
9.2.3. Расчет длинных трубопроводов	22
9.3. Расчет водопроводной сети	26
9.3.1. Расчет всасывающей линии водопровода	26
9.3.2. Расчет нагнетательной линии	29
9.3.3. Расчет распределительных водопроводных сетей	34
9.4. Неустановившееся движение жидкости в напорных трубопроводах	52
9.4.1. Неустановившееся движение несжимаемой жидкости в жестком трубопроводе	54
9.4.2. Неустановившееся движение сжимаемой жидкости в упругом трубопроводе. Гидравлический удар	64
10. ИСТЕЧЕНИЕ ЖИДКОСТИ ИЗ ОТВЕРСТИЙ И НАСАДКОВ. СТРУИ	81
10.1. Истечение жидкости из отверстия в тонкой стенке	81
10.1.1. Истечение в атмосферу (газ) при постоянном напоре	81
10.1.2. Траектория струи	86
10.1.3. Истечение через затопленное отверстие	87
10.1.4. Истечение из больших отверстий	89
10.2. Истечение жидкости через насадки	90
10.3. Истечение жидкости через отверстия и насадки при переменном напоре	94
10.3.1. Истечение жидкости в атмосферу	94
10.3.2. Истечение жидкости под переменный уровень	99
10.4. Свободные струи	101
10.4.1. Затопленная струя	101
10.4.2. Незатопленная струя	103
10.4.3. Динамические свойства струи	104

<b>11. ДВИЖЕНИЕ ЖИДКОСТИ В ОТКРЫТЫХ КАНАЛАХ И РУСЛАХ</b>	<b>109</b>
11.1. Установившееся движение жидкости в открытых руслах	109
11.1.1. Равномерное безнапорное движение	109
11.1.2. Неравномерное установившееся течение в открытых руслах	124
11.1.3. Гидравлический прыжок	160
11.2. Неустановившееся движение жидкости в открытых руслах	176
11.2.1. Основные понятия	176
11.2.2. Дифференциальные уравнения неустановившегося плавно изменяющегося движения в открытых руслах	180
11.2.3. Решение Сен-Венана	184
<b>12. ДВИЖЕНИЕ ДВУХФАЗНЫХ СРЕД</b>	<b>190</b>
12.1. Основные понятия	190
12.2. Критическая скорость двухфазного потока	198
12.2.1. Критическая скорость напорного потока	199
12.2.2. Критическая скорость при безнапорном движении	201
12.2.3. Рекомендации к практическим расчетам	202
12.3. Кинематические характеристики двухфазного потока	204
12.3.1. Распределение скоростей	204
12.3.2. Распределение консистенции	206
12.4. Потери напора двухфазного потока	207
12.4.1. Потери напора по длине напорного потока	207
12.4.2. Местные сопротивления	212
12.5. Механизм взвешивания и переноса твердых частиц	213
12.5.1. Подъемная (архимедова) сила	213
12.5.2. Сила лобового воздействия потока	214
12.5.3. Подъемная сила (по Н.Е. Жуковскому)	217
12.5.4. Силы, связанные с пульсационной структурой потока	218
12.5.5. Силы, связанные с крупномасштабными турбулентными структурными образованиями (по гравитационной теории М.А. Великанова)	219

12.5.6. Силы, связанные с относительным взаимодействием твердых частиц	220
12.5.7. Сила воздействия ветровых волн	221
12.5.8. Определение результирующей силы	222
12.6. Уравнения движения двухфазного потока	222
12.6.1. Анализ слагаемых уравнения Рейнольдса для двухфазного потока	223
12.6.2. Вывод дифференциальных уравнений пульсационной энергии	224
12.7. Диффузионная и гравитационная теории	227
12.7.1. Диффузионная теория	228
12.7.2. Гравитационная теория	231
12.7.3. Границы применимости диффузионной и гравитационной теорий	234
13. ДВИЖЕНИЕ ГРУНТОВЫХ ВОД	236
13.1. Основной закон фильтрации — закон Дарси	237
13.2. Напорное движение грунтовых вод	239
13.3. Безнапорное движение грунтовых вод	243
13.4. Фильтрация под плотиной на нескальном основании	249
<b>Часть 2. ГИДРАВЛИКА СООРУЖЕНИЙ</b>	
14. ВОДОСЛИВЫ	261
14.1. Терминология и классификация водосливов	261
14.2. Основная формула расхода водослива	265
14.3. Водослив с острым порогом	266
14.3.1. Формы ниспадающей струи	266
14.3.2. Три основные задачи расчета водослива	268
14.3.3. Определение коэффициента расхода водослива	269
14.4. Водослив с широким порогом	272
14.5. Водослив практического профиля	278
15. СОПРЯЖЕНИЕ БЬЕФОВ	284
15.1. Сопряжение бьефов при изменении уклона канала	284
15.2. Сопряжение бьефов при устройстве подпорных сооружений	288
15.2.1. Определение глубины сжатого сечения	290
15.2.2. Определение дальности отгона прыжка	294
15.2.3. Особенности сопряжения бьефов при истечении из-под затвора	296

15.3. Сопряжение бьефов за водосбросной плотиной с уступом _____	298
15.3.1. Расчет плотины с низким уступом _____	298
15.3.2. Расчет плотины с высоким уступом _____	304
16. ВОДОБОЙНЫЕ СООРУЖЕНИЯ _____	310
16.1. Водобойный колодец _____	312
16.2. Водобойная стенка _____	315
16.3. Комбинированный колодец _____	319
17. СОПРЯГАЮЩИЕ СООРУЖЕНИЯ _____	322
17.1. Перепады _____	323
17.1.1. Расчет одноступенчатого перепада _____	323
17.1.2. Расчет бесколодезного многоступенчатого перепада _____	326
17.1.3. Расчет многоступенчатого перепада колодезного типа _____	330
17.2. Быстротоки _____	338
17.2.1. Гидравлический расчет призматического быстроготока _____	339
17.2.2. Гидравлический расчет непризматического быстроготока с заданной линией свободной поверхности _____	343
17.3. Консольные перепады _____	345
17.3.1. Гидравлический расчет отброса струи носком консоли _____	346
17.3.2. Гидравлический расчет размеров воронки размыва _____	349
17.4. Шахтные водосбросы _____	353
17.4.1. Пропускная способность кругового водослива _____	354
17.4.2. Очертания воронки без плоского гребня _____	362
17.4.3. Воронка с плоским гребнем _____	367
17.4.4. Переходный участок _____	368
17.4.5. Вертикальная шахта, колено и отводящий туннель _____	369
17.4.6. Аэрация потока в шахте _____	370
17.5. Сифонные водосбросы _____	370
17.5.1. Расчет пропускной способности сифона _____	371
17.5.2. Расчет давления в сечении на повороте _____	374

18. СУДОХОДНЫЕ ШЛЮЗЫ _____	376
18.1. Общие положения _____	376
18.2. Схема гидравлического расчета _____	377
18.3. Основное уравнение для расчета шлюзования _____	378
18.4. Интегрирование основного уравнения без учета сил инерции _____	381
18.4.1. Мгновенное открытие затворов _____	383
18.4.2. Медленное открытие затворов _____	383
18.5. Интегрирование основного уравнения с учетом сил инерции при мгновенном открытии затворов _____	387
19. СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОТОКОВ В СООРУЖЕНИЯХ И МОДЕЛЯХ _____	393
19.1. Средства измерения давлений и уровней воды _____	393
19.2. Средства измерения скоростей потока _____	397
19.3. Средства измерения расхода потока _____	407
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК _____	417
ОСНОВНЫЕ УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ _____	418