

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*

Зуйков, А. Л.

391 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

11. ДВИЖЕНИЕ ЖИДКОСТИ В ОТКРЫТЫХ КАНАЛАХ И РУСЛАХ _____	109
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
12. ДВИЖЕНИЕ ДВУХФАЗНЫХ СРЕД _____	190
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
Часть 2. ГИДРАВЛИКА СООРУЖЕНИЙ		
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 быстротока _____	339
17.2.2. Гидравлический расчет непрзматического быстротока 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