

УДК 532:627.8
ББК 30.123
3-91

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор *Д.В. Штеренлихт*,
заведующий кафедрой гидравлики,
доктор технических наук, профессор *Н.В. Ханов*, профессор
кафедры гидравлики ФГБОУ ВПО «Московский государственный
университет природообустройства»;
кандидат технических наук *Н.К. Пономарев*,
заведующий кафедрой гидравлики и гидротехнических сооружений,
доктор технических наук, профессор *Б.А. Животовский*, профессор
кафедры 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, Андрей Львович.

3-91 Гидравлика : учебник : в 2 томах / А.Л. Зуйков, Л.В. Волгина
[гл. 12] ; М-во образования и науки Росс. Федерации, Нац. исследо-
ват. Моск. гос. строит. ун-т. — 3-е изд., испр. — Москва : Издатель-
ство МИСИ – МГСУ, 2018 — .

ISBN 978-5-7264-1817-9

Т. 2 : Напорные и открытые потоки. Гидравлика сооружений.
2018. — 400 с.

ISBN 978-5-7264-1819-3 (т. 2)

Изложен соответствующий государственному образовательному стандарту высшего профессионального образования по направлению 08.03.01 Строительство материал курса «Гидравлика напорных и открытых потоков» и «Гидравлика сооружений». Раскрыты основные законы равномерного, неравномерно-го и неустановившегося движения жидкости в напорных трубопроводах и открытых каналах. Рассмотрены методы гидравлического расчета основных гидротехнических сооружений.

Для обучающихся всех уровней, форм и профилей подготовки в высших учебных заведениях по направлению 08.03.01 Строительство, а также аспирантов, инженерно-технических и научных работников в области гидравлики и механики жидкости.

УДК 532:627.8
ББК 30.123

ISBN 978-5-7264-1819-3 (т. 2)
ISBN 978-5-7264-1817-9

© Национальный исследовательский
Московский государственный
строительный университет, 2018,
с исправлениями.

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
	397

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
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК _____	417
ОСНОВНЫЕ УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ _____	418