



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

А.Л. Зуйков

ГИДРАВЛИКА

В двух томах

Рекомендовано Учебно-методическим объединением вузов РФ
по образованию в области строительства в качестве учебника
для студентов высших учебных заведений, обучающихся
по направлению подготовки 270800 «Строительство»

(10.04.2014 г., № 102-15/819)

Москва 2015



МИСИ
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

А.Л. Зуйков

ГИДРАВЛИКА

Том 2

НАПОРНЫЕ И ОТКРЫТЫЕ ПОТОКИ. ГИДРАВЛИКА СООРУЖЕНИЙ

Москва 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
	421

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. ВОДОВОЙНЫЕ 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