

УДК 628.2+532.5

ББК 39.71-022

В43

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор *В.А. Орлов*, заведующий кафедрой водоснабжения и водоотведения НИУ МГСУ;

доктор технических наук, профессор *И.И. Павлинова*, старший научный сотрудник отдела 40 АО «МосводоканалНИИпроект»;

доктор технических наук, профессор *В.И. Баженов*, исполнительный директор ЗАО «Водоснабжение и водоотведение»

Викулин, Павел Дмитриевич.

В43 Гидравлика и аэродинамика систем водоснабжения и водоотведения : учебник / П.Д. Викулин, В.Б. Викулина ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Нац. исследоват. Моск. гос. строит. ун-т. — Москва : Издательство МИСИ — МГСУ, 2018. — 396 с.

ISBN 978-5-7264-1873-5

Изложены основные вопросы гидравлики и аэродинамики систем водоснабжения и водоотведения. Рассмотрены законы равновесия, основы кинематики и динамики, гидравлических сопротивлений при движении жидкости и газа. Описано обтекание потоком жидкости твердых тел. Детализированы механизмы перемешивания затопленных струй с окружающей средой и смешения сточных вод с водой водоемов. Приведены основные элементы гидравлических машин и воздушных станций. В каждом разделе есть примеры гидравлических расчетов.

Для обучающихся по направлениям подготовки 08.03.01 Строительство, 15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств, 27.03.04 Управление в технологических системах, 20.03.01 Техносферная безопасность.

УДК 628.2+532.5

ББК 39.71-022

ISBN 978-5-7264-1873-5

© Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие.....	3
Введение	4
Глава 1. Единицы измерений основных физических показателей жидкости	7
Вопросы для самопроверки	11
Глава 2. Основные физические свойства жидкостей	12
2.1. Понятие жидкости.....	12
2.2. Физические свойства жидкости.....	13
2.3. Многофазные системы.....	25
2.4. Примеры	35
Вопросы для самопроверки	37
Глава 3. Равновесие жидкости и газа	39
3.1. Гидростатическое давление и его свойства.....	39
3.2. Дифференциальные уравнения равновесия жидкостей (уравнения Эйлера).....	41
3.3. Основное уравнение гидростатики в дифференциальной форме	44
3.4. Поверхности равного давления	44
3.5. Основное уравнение гидростатики в интегральной форме	48
3.6. Закон Паскаля. Гидромеханизмы.....	52
3.7. Сила давления жидкости на плоскую стенку	54
3.8. Центр давления.....	56
3.9. Закон Архимеда	59
3.10. Условия равновесия плавающих тел	60
3.11. Равновесие газа в поле силы тяжести.....	64
3.12. Приборы для измерения давления воды.....	66
3.13. Примеры	69
Вопросы для самопроверки	77
Глава 4. Основы кинематики и динамики жидкости и газа	79
4.1. Основы кинематики движения жидкости	79
4.1.1. Понятие о гидродинамике.....	79

4.1.2. Основные понятия и виды движения жидкости и газа	80
4.2. Гидравлические элементы потока.....	83
4.2.1. Основные понятия элементов потока.....	83
4.2.2. Дифференциальные уравнения движения идеальной жидкости.....	84
4.2.3. Дифференциальные уравнения неразрывности для идеальной жидкости	86
4.3. Уравнение Бернулли для невязкой жидкости	88
4.3.1. Вывод уравнения для невязкой жидкости	88
4.3.2. Уравнение Бернулли для потока	92
4.4. Уравнение движения вязкой жидкости	94
4.4.1. Условие движения вязкой жидкости.....	94
4.4.2. Уравнение Бернулли — Эйлера для газов	99
4.5. Уравнение количества движения (импульсов)	103
4.6. Элементы газовой динамики	106
4.6.1. Течение газа в сужающемся канале	106
4.6.2. Течение газа в расширяющемся канале. Сопло Лаваля.....	109
4.6.3. Прямой скачок уплотнения газа	111
4.6.4. Косой скачок уплотнения газа	116
4.6.5. Связь между скоростями течения и скоростью звука. Число Маха	118
4.7. Уравнение Бернулли в гидравлических расчетах	120
4.8. Примеры	125
Вопросы для самопроверки	136
Глава 5. Гидравлические сопротивления и потери при движении жидкости и газа	138
5.1. Понятие о гидравлических сопротивлениях и потерях напора	138
5.2. Ламинарный и турбулентный режимы движения жидкости.....	139
5.2.1. Предпосылки для определения характера движения жидкости.....	139
5.2.2. Критерий Рейнольдса и его критическое значение	141

5.2.3. Распределение скоростей потока в трубе при ламинарном режиме	142
5.2.4. Определение расхода при ламинарном течении жидкости в трубе	144
5.2.5. Потери напора в трубе при ламинарном режиме ...	146
5.2.6. Распределение скоростей потока в трубе при турбулентном режиме	148
5.2.7. Потери напора при турбулентном режиме движения жидкости в трубах.....	150
5.3. Местные сопротивления	152
5.3.1. Понятие о местных сопротивлениях в трубопроводах.....	152
5.3.2. Экспериментальное определение коэффициентов местных сопротивлений и коэффициента Дарси.....	157
5.3.3. Определение общих потерь напора при движении жидкости	158
5.4. Аэродинамический расчет трубопроводов	159
5.4.1. Особенности подачи газообразных жидкостей по трубопроводам	159
5.4.2. Гидравлический расчет воздухопроводов при малых перепадах давления	160
5.4.3. Гидравлический расчет воздухопроводов при больших перепадах давления	162
5.4.4. Особенности гидравлического расчета воздухопроводов низкого давления.....	167
5.4.5. Гидравлический расчет вентиляционных воздухопроводов	168
5.5. Примеры	168
Вопросы для самопроверки	177
Глава 6. Цели и задачи систем водоснабжения	179
6.1. Основные понятия системы водоснабжения	179
6.2. Трассирование сетей водоснабжения	180
6.3. Движение жидкости в напорных трубопроводах	181
6.4. Основы расчета трубопроводов.....	182
6.4.1. Принципы расчета напорных трубопроводов	182

6.4.2. Расчет последовательно соединенных трубопроводов	188
6.4.3. Расчет параллельно соединенных трубопроводов	189
6.4.4. Расчет разветвленного и кольцевого трубопроводов	190
6.5. Зависимость гидравлического расчета от материалов трубопроводов	193
6.6. Примеры	201
Вопросы для самопроверки	223
Глава 7. Неустановившееся движение в напорных трубопроводах	224
7.1. Общие сведения о неустановившемся режиме движения жидкости в трубопроводах	224
7.2. Истечение жидкости при переменном напоре	226
7.3. Гидравлический удар	230
7.3.1. Этапы развития гидравлического удара	230
7.3.2. Определение ударного давления и скорости распространения ударной волны	234
7.3.3. Способы гашения и примеры использования гидравлического удара	236
7.4. Примеры	238
Вопросы для самопроверки	246
Глава 8. Системы водоотведения	248
8.1. Основные понятия и общие представления о системе водоотведения	248
8.1.1. Понятие о схемах водоотведения	248
8.1.2. Условия равномерного движения жидкости в открытых каналах	250
8.1.3. Основные расчетные формулы	251
8.1.4. Гидравлические характеристики канала	257
8.1.5. Гидравлически наивыгоднейшее сечение канала ...	258
8.1.6. Допустимые скорости в каналах	261
8.2. Основные типы задач при расчете каналов	262
8.3. Гидравлический расчет каналов замкнутого сечения	264
8.4. Особенности гидравлического расчета русел рек	266
8.5. Общие сведения о наносах в трубопроводах	268

8.6. Осаждение (всплывание) твердых частиц в жидкости....	272
8.7. Особенности осаждения (всплывания) капель жидкости и газовых пузырьков.....	276
8.8. Примеры	279
Вопросы для самопроверки	286
Глава 9. Гидравлика и аэродинамика процессов механической очистки воды	288
9.1. Динамическое воздействие потока на элементы сооружений	288
9.1.1. Основные виды динамического воздействия потока	288
9.1.2. Взаимодействие струи жидкости с ограждающей поверхностью	289
9.1.3. Расчет давления на повороте потока (трубопровода).....	295
9.1.4. Изгиб воздушных струй.....	298
9.1.5. Воздушная завеса	300
9.2. Местные сопротивления в открытых руслах. Виды сопротивлений	303
9.3. Решетки.....	304
9.4. Водосливы.....	305
9.5. Водомерные лотки.....	307
9.6. Фильтрация.....	309
9.6.1. Понятие о фильтрации	309
9.6.2. Коэффициент фильтрации.....	311
9.6.3. Ламинарная и турбулентная фильтрации	312
9.7. Взаимодействие потока и твердого тела	313
9.7.1. Определение мощности воздействия струи потока на преграду.....	313
9.7.2. Сопротивление тел в жидкости	314
9.7.3. Обтекание шара. Гидравлическая крупность.....	316
9.8. Примеры	317
Вопросы для самопроверки	322
Глава 10. Смешение водных масс с водой водоемов	324
10.1. Разбавление водных масс водой водоемов	324
10.2. Перенос вещества в потоке	331

10.3. Определение коэффициента турбулентной диффузии для зоны смешения водных масс	336
10.4. Самоочищение воды в водоеме	338
10.5. Сброс сточных вод в непроточные водоемы	341
10.6. Примеры	343
Вопросы для самопроверки	345
Глава 11. Гидромашины	346
11.1. Общие сведения о гидравлических машинах	346
11.2. Движение жидкости в рабочем колесе насоса	354
11.3. Теоретический напор и подача насоса	355
11.4. Высота всасывания и кавитация	361
11.5. Работа центробежных насосов на сеть	365
11.6. Регулирование подачи центробежных насосов	375
11.7. Воздуходувки, компрессоры, вакуумные насосы	376
11.8. Критерий быстроходности и коэффициент давления вентилятора	382
11.9. Основные правила эксплуатации центробежных насосов	384
11.10. Примеры	386
Вопросы для самопроверки	386
Библиографический список	388