

Т.А. ФИЛИППОВА, М.Ш. МИСРИХАНОВ,
Ю.М. СИДОРКИН, А.Г. РУСИНА

ГИДРОЭНЕРГЕТИКА

Издание третье, переработанное

*Допущено УМО вузов России по образованию в области энергетики
и электротехники в качестве учебного пособия для студентов
высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки
140200 – «Электроэнергетика»*

НОВОСИБИРСК
2013

УДК 621.311.21 (075.8)

Г 464

Рецензенты:

д-р техн. наук, профессор *В.В. Дегтярев*;
д-р техн. наук, профессор *М.А. Кувишинова*

Г 464 **Гидроэнергетика** : учеб. пособие / Т.А. Филиппова, М.Ш. Мисриханов, Ю.М. Сидоркин, А.Г. Русина. – 3-е изд., перераб. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2013. – 620 с. (Серия «Учебники НГТУ»).

ISBN 978-5-7782-2209-0

Рассмотрен весь цикл производства электроэнергии на ГЭС и использования гидроэлектростанций как объектов электроэнергетики в электроснабжении потребителей: технологический процесс получения электроэнергии на ГЭС на основе использования водной энергии рек; особенности работы ГЭС в электроэнергетической системе при электроснабжении потребителей; инженерные основы создания ГЭС как промышленного объекта электроэнергетики; общенергетические сведения о состоянии гидроэнергетики в России и в мире. По этим направлениям излагаются специальные вопросы. В их числе: использование энергии рек и преобразование ее в электрическую энергию на гидротурбинных установках; регулирование стока рек водохранилищами; место ГЭС в электроэнергетических системах; гидротехнические сооружения; выбор основных гидроэнергетических параметров при проектировании ГЭС; сведения по общей гидроэнергетике России и мира.

Книга ориентирована на широкий круг читателей: студентов, имеющих энергетическую подготовку; инженеров, работающих на предприятиях и в организациях, где требуются знания основ гидроэнергетики, на любого читателя, который знакомится с работой ГЭС.

УДК 621.311.21 (075.8)

ISBN 978-5-7782-2209-0

© Филиппова Т.А., Мисриханов М.Ш.,
Сидоркин Ю.М., Русина А.Г., 2012, 2013
© Новосибирский государственный
технический университет, 2012, 2013

ОГЛАВЛЕНИЕ

Список аббревиатур	11
Предисловие.....	13
Раздел 1. ПАРАМЕТРЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ГЭС. ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА	
Глава 1. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГИИ РЕК.....	21
1.1. Концентрация энергии реки.....	21
1.2. Ступени использования гидроэнергетических ресурсов реки.....	26
Вопросы для самопроверки.....	30
Глава 2. ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ГИДРОЭНЕРГЕ- ТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ	31
2.1. Этапы технологического процесса ГЭС.....	31
2.2. Энергия и мощность ГЭС	35
2.3. Напор ГЭС	37
2.4. Водохранилище и его характеристики.....	40
2.5. Нижний бьеф ГЭС.....	50
2.6. Неустановившийся режим в нижнем бьефе ГЭС.....	54
2.7. Напорные характеристики ГЭС	61
2.8. Баланс напоров ГЭС.....	64
2.9. Баланс расходов ГЭС	65
Вопросы для самопроверки.....	67
Глава 3. РЕГУЛИРОВАНИЕ РЕЧНОГО СТОКА	69
3.1. Гидрологические особенности и характеристики стока реки.....	69
3.2. Вероятностная природа стока	77
3.3. Виды водно-энергетического регулирования стока реки водохранилищем	79
3.4. Регулирование стока в каскаде ГЭС.....	88
3.5. Компенсирующее регулирование	89
Вопросы для самопроверки.....	90
Библиографический список к разделу 1	92
Раздел 2. ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ГИДРОЭНЕРГИИ В ГИДРОТУРБИННЫХ УСТАНОВКАХ И РЕГУЛИРОВАНИЕ МОЩНОСТИ АГРЕ- ГАТОВ И ГЭС	
Глава 4. ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ЭНЕРГИИ В РАБОЧИХ ОРГАНАХ ГИДРОТУР- БИНЫ.....	93
4.1. Понятие о гидравлической турбине	93
4.2. Основное уравнение гидромашин	96

4.3. Конструктивное исполнение гидротурбины.....	104
4.4. Гидротурбинные установки и их рабочий процесс.....	121
4.5. Сущность и эффективность процесса регулирования мощности реактивных турбин	126
4.6. Кавитация в гидротурбинах	129
4.7. Условия бескавитационной работы гидротурбины	134
4.8. Определение высоты отсасывания установки.....	136
Вопросы для самопроверки.....	141
Глава 5. ХАРАКТЕРИСТИКИ ОСНОВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ГЭС	143
5.1. Виды энергетических характеристик	143
5.2. Энергетические характеристики гидротурбин	147
5.3. Энергетические характеристики агрегатов ГЭС	156
5.4. Натурные характеристики гидроагрегатов	165
5.5. Построение характеристик в АСУ ТП	174
Вопросы для самопроверки.....	180
Глава 6. АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ МОЩНОСТИ ГИДРОТУРБИН.....	183
6.1. Задачи регулирования активной мощности агрегатов и ГЭС	183
6.2. Принципиальная схема автоматического регулирования мощности гидроагрегата.....	184
6.3. Характеристики регуляторов скорости	187
6.4. Гарантии регулирования.....	189
6.5. Регулирование мощности агрегатов и станций	191
Вопросы для самопроверки.....	193
Библиографический список к разделу 2.....	196
Р а з д е л 3. ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМОВ ГЭС И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИХ РЕШЕНИЯ	
Глава 7. ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМАМИ ГЭС	197
7.1. Задачи управления нормальными режимами ГЭС.....	197
7.2. Техно-экономические показатели режимов работы ГЭС.....	200
7.3. Информационное моделирование режимных задач	204
Вопросы для самопроверки.....	208
Глава 8. МОДЕЛИ И МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМОВ.....	209
8.1. Выбор метода оптимизации	209
8.2. Математическая формулировка задач оптимизации	210
8.3. Методы нелинейного программирования.....	214

8.4. Учет ограничений при оптимизации	233
8.5. Математические модели управления режимами.....	242
8.6. Распределение нагрузки между агрегатами ГЭС методом динамического программирования.....	246
Вопросы для самопроверки.....	252
Библиографический список к разделу 3	254
Р а з д е л 4. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ ГЭС	
Глава 9. ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ ВОДОХРАНИЛИЩ ГЭС	255
9.1. Общие положения расчета режима гидроэлектростанции в энергетиче- ских и водохозяйственных системах	255
9.2. Основные принципы управления режимами ГЭС	257
9.3. Методика водно-энергетических расчетов	260
9.4. Оптимизация долгосрочных режимов ГЭС	263
9.5. Оптимизация режима водохранилища одиночной ГЭС	265
9.6. Особенности оптимизации режима группы ГЭС, работающих совместно в энергосистеме	270
9.7. Особенности оптимизации режимов каскада ГЭС.....	273
Вопросы для самопроверки.....	277
Глава 10. УПРАВЛЕНИЕ РЕЖИМАМИ ВОДОХРАНИЛИЩА	279
10.1. Основные способы управления режимами водохранилища ГЭС.....	279
10.2. Диспетчерское регулирование водных ресурсов водохранилища ГЭС.....	280
10.3. Последовательная корректировка длительного режима водохранилища.....	288
10.4. Схема прикладных расчетов по рациональному использованию гидро- энергетических ресурсов ГЭС	292
Вопросы для самопроверки.....	295
Глава 11. ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ГИДРОУЗЛОВ КОМПЛЕКСНОГО НАЗНАЧЕНИЯ	297
11.1. Водохозяйственные компоненты гидроузлов.....	297
11.2. Технико-экономический анализ комплексного использования водных ресурсов гидроузлов	301
11.3. Задачи эффективного использования водных ресурсов комплексных гидроузлов	302
11.4. Суточные режимы использования водных ресурсов гидроузлов ком- плексного назначения	307
Вопросы для самопроверки.....	310
Библиографический список к разделу 4	312

Р а з д е л 5. ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ

Глава 12. УПРАВЛЕНИЕ РЕЖИМАМИ ГЭС В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ	313
12.1. Некоторые особенности работы станций в электроэнергетических системах	313
12.2. Эксплуатационные свойства электростанций	315
12.3. Категории мощности агрегатов и электрических станций	318
12.4. Балансы мощности и электроэнергии в системе	321
12.5. Резервы мощности	332
12.6. Гидроэлектростанции как объект энергетической системы	336
12.7. ГЭС в балансе мощности энергетической системы	338
12.8. Режим ГЭС в различных условиях водности и регулирования стока	341
12.9. ГЭС как источник реактивной мощности в энергетической системе	352
12.10. Обобщенные данные об особенностях использования гидроэлектростанций в энергосистеме	354
12.11. Регулирование частоты системы	355
12.12. Поддержание качества электрической энергии по частоте	356
12.13. Процесс регулирования частоты	359
Вопросы для самопроверки	363
Глава 13. КРАТКОСРОЧНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ ГЭС В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ	365
13.1. Целесообразность оптимизации	365
13.2. Принципы оптимизации краткосрочных режимов ЭЭС	366
13.3. Научные принципы решения задач краткосрочной оптимизации режима ЭЭС	369
13.4. Оптимальное распределение нагрузки между ТЭС в гидротепловой энергосистеме	374
Вопросы для самопроверки	380
Глава 14. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАГРУЗКИ В ГИДРОТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЕ	381
14.1. Основные условия распределения нагрузки в энергосистеме с ГЭС и ТЭС	381
14.2. Распределение нагрузки при переменном напоре ГЭС	388
14.3. Комплексная оптимизация режимов электроэнергетической системы	393
14.4. Реализация оптимальных режимов при эксплуатации электростанций и энергосистем	395
Вопросы для самопроверки	399

Глава 15. ОПТИМИЗАЦИЯ ВНУТРИСТАНЦИОННЫХ РЕЖИМОВ ГЭС	401
15.1. Основные условия внутристанционной оптимизации.....	401
15.2. Распределение нагрузки между агрегатами электростанций.....	402
15.3. Оптимизация состава и мощностей агрегатов ГЭС	403
15.4. Методы оптимизации состава и режима агрегатов ГЭС с различными характеристиками	410
Вопросы для самопроверки.....	415
Глава 16. ОПТИМАЛЬНЫЕ ЭКВИВАЛЕНТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ	417
16.1. Задачи построения характеристик электростанций	417
16.2. Энергетические характеристики станции с одинаковыми агрегатами	418
16.3. Построение эквивалентных характеристик станции методом динамического программирования	420
16.4. Построение эквивалентных характеристик станции при заданном составе работающих агрегатов	424
16.5. Среднеинтервальные характеристики.....	429
Вопросы для самопроверки.....	430
Библиографический список к разделу 5	432
Р а з д е л 6. ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ ГЭС	
Глава 17. ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ	433
17.1. Общая характеристика гидротехнических сооружений	433
17.2. Конструкции зданий ГЭС.....	435
17.3. Плотины ГЭС.....	444
17.4. Силы, действующие на гидротехнические сооружения	451
Вопросы для самопроверки.....	456
Библиографический список к разделу 6	458
Р а з д е л 7. ВЫБОР ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ГЭС	
Глава 18. ПРИНЦИПЫ РАЗВИТИЯ ГИДРОЭНЕРГЕТИКИ	459
18.1. Особенности создания новых гидроузлов в России	459
18.2. Инвестиционные проблемы строительства новых ГЭС	467
Вопросы для самопроверки.....	471
Глава 19. ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ, ОПРЕДЕЛЯЕМЫЕ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ГЭС	473
19.1. Стадии проектирования ГЭС	473
19.2. Обоснование установленной мощности ГЭС	475

19.3. Обоснование выработки электроэнергии ГЭС	480
19.4. Выбор отметки нормального уровня водохранилища НПУ и полезного объема водохранилища	482
19.5. Расчетная обеспеченность гарантированных параметров ГЭС по вытес- няющей мощности и электроэнергии	486
Вопросы для самопроверки	489
Глава 20. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ РАЗВИТИЯ ГИДРОЭНЕРГЕТИКИ	491
20.1. Смета затрат на создание гидроэнергетической установки	491
20.2. Заменяемые водохозяйственные объекты.....	500
20.3. Коммерческая эффективность ГЭС	503
20.4. Оценка эффективности инвестиционных проектов	509
Вопросы для самопроверки	518
Библиографический список к разделу 7	520
ПРИЛОЖЕНИЯ	
<i>Приложение 1. Гидроэнергетика в мире.....</i>	521
<i>Приложение 2. Гидроэнергетический потенциал рек России.....</i>	525
<i>Приложение 3. Гидроэлектростанции России.....</i>	535
<i>Приложение 4. Каскады ГЭС в России и Украине</i>	543
<i>Приложение 5. Краткие характеристики основных гидроэлектростанций России</i>	549
<i>Приложение 6. Интересные факты</i>	570
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК КО ВСЕЙ КНИГЕ.....	575
ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ	578
СЛАЙД-КОНСПЕКТ ПО ОСНОВНЫМ ВОПРОСАМ ГИДРОЭНЕРГЕТИКИ	585