

**В. И. ОБРЕЗКОВ
А. М. ГОХМАН**

**ГИДРОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ
СТАНЦИИ
В ЭЛЕКТРО-
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ
СИСТЕМАХ**

В. И. ОБРЕЗКОВ,
А. М. ГОХМАН

ГИДРОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ
СТАНЦИИ
В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ
СИСТЕМАХ



«ЭНЕРГИЯ»

МОСКВА 1973

В книге рассматриваются основные вопросы водноэнергетического регулирования и работы ГЭС в энергетических системах при различных условиях водности, рационального участия ГЭС в покрытии графика нагрузки энергосистемы в условиях комплексного использования стока. В ней также нашли отражение некоторые проблемы технико-экономического обоснования энергетических параметров ГЭС. Рассматриваются возможности использования современных средств вычислительной техники при определении эффективности работы ГЭС в энергетической системе.

Книга рассчитана на широкий круг читателей, работающих в области энергетики и водного хозяйства, и может быть полезна студентам и аспирантам при изучении основ гидроэнергетики.

О $\frac{0336-288}{051(01)-73}$ 63-73

ПРЕДИСЛОВИЕ

Современное развитие отечественной энергетики осуществляется, как известно, преимущественно за счет строительства высокоэкономичных мощных блочных ГРЭС. Это нашло свое отражение и в решениях XXIV съезда КПСС и в плане развития народного хозяйства на 9-е пятилетие.

Вместе с тем наблюдается процесс непрерывного уплотнения графиков нагрузки подавляющего большинства энергосистем и их объединений, что требует наличия в их структуре генерирующих установок, способных работать в резкопеременном режиме. К числу таких установок в настоящее время относятся прежде всего ГЭС, обладающие водохранилищами с той или другой возможностью регулирования речного стока.

Вопросы рационального участия ГЭС в покрытии графика потребления электроэнергии системы в условиях комплексного использования стока стали особенно актуальными в связи с бурным развитием энергетики в последние годы. Происшедшие количественные и качественные изменения условий производства и потребления электроэнергии потребовали пересмотра ряда длительного время считавшихся незыблыми положений формирования структуры энергетической системы и рационального использования ее генерирующих источников во времени.

Вопросы повышения надежности и экономичности производства и распределения электроэнергии приобрели первостепенное значение. Это находит свое отражение во всех партийных и правительственных директивах по развитию народного хозяйства последнего времени.

Учебное пособие С. Н. Никитина «Основы гидроэнергетических расчетов», вышедшее в свет в 1959 г., и монография Б. И. Никитина «Гидроэлектростанции в единой энергетической системе», опубликованная в 1960 г., по-

священы вопросам использования водной энергии. В них большое внимание было уделено режимам ГЭС в энергетической системе. Обе эти книги отражали опыт проектирования и эксплуатации ГЭС, который накопился к концу 50-х годов и на основе которого шло формирование специалистов-гидроэнергетиков.

Естественно, что все вышеперечисленные положения в указанных двух книгах не могли быть поставлены и рассмотрены с позиций сегодняшнего дня, и в этом смысле эти книги в известной мере устарели. Вместе с тем общие методологические положения, высказанные С. Н. Никитиным и Б. И. Никитиным, представляют несомненный интерес и сегодня.

В настоящей книге в основном рассматриваются вопросы водноэнергетического регулирования и работы ГЭС в энергетической системе, т. е. те вопросы, по которым сегодня ощущается недостаток монографической и учебной литературы. В меньшей мере рассмотрены вопросы, связанные с обоснованием гидроэнергетических параметров ГЭС.

При изложении некоторых разделов книги часть материала была заимствована из «Основ гидроэнергетических расчетов» С. Н. Никитина. Вместе с тем ряд рекомендованных им методов и способов расчета пересмотрен и дополнен новыми положениями, вытекающими из необходимости и возможности повышения качества расчетов в связи с изменившимися условиями функционирования энергетических систем и появлением современных средств вычислительной техники.

При написании книги авторы не ставили перед собой в качестве основной задачи изложение рекомендуемых и используемых ныне методов расчета режимов и гидроэнергетических параметров ГЭС, хотя создание такого пособия для проектировщиков весьма целесообразно. Основное внимание уделено вопросам другого плана, а именно выявлению такого режима зарегулированных расходов, который наиболее полно отвечал бы требованиям водохозяйственного комплекса, т. е. обеспечивал бы наиболее высокий народнохозяйственный эффект от использования данного стока. При этом полагали возможным исключить из описания некоторые частности, которые являются или общеизвестными или не вносят принципиально нового в понимание рассматриваемого вопроса (формулы различных авторов для определения

одной и той же величины, использование формул при различной исходной информации и т. п.).

Имея некоторый опыт преподавания в энергетическом вузе основ гидроэнергетики, авторы стремились методы и приемы расчета изложить в доходчивой, наглядной форме для понимания сути рассматриваемых процессов. Некоторые из рассмотренных методов и приемов взяты из практики проектных организаций; другие методы являются оригинальными.

Изложение книги отнюдь не исчерпывающе, рассматриваемые вопросы в конкретных условиях формируются гораздо сложнее и многограннее. Более того, некоторые из задач изложены лишь на уровне постановки, например, проблема пиков и, в частности, ее раздел, касающийся энергоэкономической эффективности гидроаккумуляирования. Эта тема, как и другие, ей подобные, должна стать предметом специального рассмотрения.

Исходя из этого настоящую книгу как по содержанию, так и по трактовке отдельных вопросов можно отнести скорее к основам гидроэнергетики и, в частности, к той части их, которая связана с системой энергетикой в широком понимании этого термина.

Глава 3 книги написана канд. техн. наук А. М. Гохманом по материалам, разработанным им совместно с инж. В. М. Рабинким, остальные главы — доктором техн. наук В. И. Обрезковым (гл. 8 совместно с И. А. Жежеленко).

При написании книги авторы использовали различные литературные источники, перечисленные в отдельном списке, ссылки на них в тексте даны в тех случаях, когда из них заимствовался различного рода справочный материал или оригинальные исследования.

Авторы выражают благодарность канд. техн. наук Л. А. Каролу, Д. О. Сейфулле и инж. В. М. Рабинкому, просмотревшим отдельные главы и сделавшим ряд ценных замечаний; сотрудникам кафедры гидроэнергетики МЭИ С. Д. Киселевой и В. Д. Шевченко за большую помощь, оказанную авторам по оформлению рукописи; рецензенту доктору техн. наук Т. А. Филипповой и редактору канд. техн. наук Н. К. Малинину, замечания которых позволили улучшить содержание книги.

Все замечания и пожелания просьба направлять по адресу: 113114, Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10, изд-во «Энергия».

Авторы

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аракелян Э. К., Ведяев В. А. Нелинейная математическая модель для оптимизации развития энергетических систем (доклады научно-технической конференции по итогам научно-исследовательских работ. Секция теплоэнергетическая). М., 1967, с. 16—28, (МЭИ).
2. Бабурин Б. Л., Елохин Е. А. и др. Топливный эффект проектируемых гидроэлектростанций. М., «Энергия», 1965, 115 с.
3. Батов В. В., Корякин Ю. И. Экономика ядерной энергетики. М., Атомиздат, 1969, 400 с.
4. Беллман Р. Динамическое программирование. М., Изд-во иностр. лит., 1960, 216 с.
5. Бесчинский А. А., Богомольный М. А. Проблемы определения экономической эффективности капитальных вложений в энергетике.— В кн.: Вопросы методики технико-экономических расчетов в энергетике (тезисы докладов к научно-техническому совещанию). Л., 1970, с. 6—15, (НТОЭиЭП).
6. Болтянский В. Г. Математические методы оптимального управления. М., «Наука», 1969, 408 с.
7. Ведяев В. А., Аракелян Э. К., Киселев Г. П. Оптимизация энергосистемы с помощью ЭВМ (доклады научно-технической конференции по итогам научно-исследовательских работ. Секция теплоэнергетическая). М., 1969, с. 8—17, (МЭИ).
8. Вентцель Е. С. Элементы динамического программирования. М., «Наука», 1964, 176 с.
9. Водноэнергетические расчеты методом Монте-Карло. Под ред. А. Ш. Резниковского. М., «Энергия», 1970, 304 с.
10. Войцеховская Г. В., Гуреев В. Д. и др. Нелинейная математическая модель для оптимизации развития энергетических систем.— В кн.: Методы математического моделирования в энергетике. Иркутск, Восточно-Сибирское книжное изд-во, 1965, с. 136—148.
11. Гельфанд И. М., Фомин С. В. Вариационное исчисление. М., Физматгиз, 1961, 228 с.
12. Гидроэнергетика и комплексное использование водных ресурсов СССР. Под ред. П. С. Непорожного. М., «Энергия», 1970, 320 с.
13. Гнеденко Б. В. Курс теории вероятностей. М., Физматгиз, 1961, 406 с.
14. Горнштейн В. М. Наивыгоднейшие режимы работы гидроэлектростанций в энергетических системах. М.—Л., Госэнергоиздат, 1959, 248 с.
15. Дружинин И. П. и др. Речной сток и геофизические процессы. М., «Наука», 1966, 296 с.

16. Ефимов И. С., Макарова А. С., Сыров Ю. П. Линейная математическая модель для оптимизации развития энергетических систем.— В кн.: Методы математического моделирования в энергетике. Иркутск, Восточно-Сибирское книжное изд-во, 1965, с. 149—159.

17. Журавлев В. Г. Алгоритмические проблемы управления нормальными режимами энергосистем. Кишинев, «Штиинца», 1971, 208 с.

18. Златопольский А. Н., Саатчан Л. О., Хаинсон Я. И. Номограмма для приближенного определения удельного расхода топливной эффективности вариантов развития энергосистем.— «Электрические станции», 1966, № 10.

19. Использование водной энергии. Под ред. Д. С. Щавелева, Л., «Энергия», 1965, 564 с.

20. Картвелишвили Н. А. Теория вероятностных процессов в гидрологии и регулирование речного стока. Л., Гидрометеоздат, 1967, 292 с.

21. Картвелишвили Н. А. Регулирование речного стока. Л., Гидрометеоздат, 1970, 220 с.

22. Коваленко Б. Г. Ирригационно-энергетическое использование рек. Фрунзе, 1965, 239 с.

23. Крицкий С. Н., Менкель М. Ф. Водохозяйственные расчеты. Л., Гидрометеоздат, 1952, 392 с.

24. Лялик Г. Н. Роль и значение ГЭС в обеспечении оптимального уровня надежности электроснабжения смешанных энергосистем и методы их учета при проектировании (доклады научно-технической конференции по итогам научно-исследовательских работ за 1968—1969 гг. Секция электроэнергетическая). М., 1970, с. 18—21, (МЭИ).

25. Макарова А. С., Макаров А. А. Математическая модель для перспективного развития энергосистемы.— «Электрические станции», 1964, № 5.

26. Маркович И. М. Режимы энергетических систем. М., «Энергия», 1969, 352 с.

27. Мелентьев Л. А., Сыров Ю. П. О методике оптимизации энергетических систем с использованием математических моделей.— «Известия АН СССР. Энергетика и транспорт», 1964, № 5.

28. Методы покрытия пиков электрической нагрузки. Под ред. Н. А. Караулова. М., Изд-во АН СССР, 1963, 527 с.

29. Никитин С. Н. Основы водноэнергетических расчетов. М., Госэнергоиздат, 1959, 510 с.

30. Обрезков В. И. Оптимизация длительных режимов работы ГЭС в каскаде и энергосистеме.— «Труды МЭИ», 1965, вып. 62, с. 5—137.

31. Петров Г. Н. Электрические машины. Ч. 1. М., Госэнергоиздат, 1956, 220 с.

32. Петров Ю. П. Вариационные методы теории оптимального управления. М., «Энергия», 1965, 116 с.

33. Пугачев В. С. Теория случайных функций. М., Физматгиз, 1962, 883 с.

34. Саркисян С. М., Цовян Р. В., Бурначян Г. А. Выбор оптимальной структуры энергосистем, включающих НА ГЭС методами динамического программирования и вариационного исчисления.—

В кн.: Эффективность общественного производства. Ереван, 1969, с. 72—84, (ЕрПИ).

35. Саркисян С. М. Определение оптимальных параметров ГЭС и НА ГЭС, вводимых в сложную энергосистему.— В кн.: Экономические предпосылки и резервы роста производства. Ереван, Армянский республиканский дом техники, 1968, с. 46—54.

36. Сванидзе Г. Г. Основы расчета регулирования речного стока. Тбилиси, «Мецниереба», 1964, 272 с.

37. Справочник конструктора гидротурбин. Под ред. чл.-кор. АН СССР Н. Н. Ковалева. Л., «Машиностроение», 1971, 304 с.

38. Сыров Ю. П. Вопросы применения математического моделирования для оптимизации развития энергетических систем.— «Известия АН СССР. Энергетика и транспорт», 1968, № 1.

39. Типовая методика определения экономической эффективности капитальных вложений, М., «Экономика», 1969, 6 с.

40. Турбинное оборудование гидроэлектростанций. Руководство для проектирования. Под ред. А. А. Морозова. М.—Л., Госэнергоиздат, 1958, 520 с.

41. Филиппова Т. А., Ковалевская Л. В. Оптимизация внутристанционных режимов гидромеханического оборудования многоагрегатных ГЭС.— «Труды СибНИИЭ», 1970, вып. 17, с. 162—170.

42. Филиппова Т. А. Эксплуатационные режимы гидроэлектростанций. Новосибирск, «Наука», (Сибирское отделение), 1968, 194 с.

43. Цветков Е. В. Расчет оптимального регулирования стока водохранилищами гидроэлектростанций на ЦВМ. М., «Энергия», 1967, 133 с.

44. Цветков Е. В. Планирование оптимального развития энергосистем методом динамического программирования.— «Труды ВНИИЭ», 1965, вып. XXII, с. 67—91.

45. Цовян Р. В., Бурначян Г. А., Саркисян С. М. Оптимизация структуры энергосистем, включающих НА ГЭС при помощи принципа максимума.— В кн.: Эффективность общественного производства. Ереван, 1969, с. 63—74, (ЕрПИ).

46. Электрические системы. Под ред. В. А. Веникова. М., «Высшая школа», 1971, 437 с.

47. Энергетика СССР. Под ред. П. С. Непорожного. М., «Энергия», 1963.

48. Энергетика СССР в 1971—1975 г. Под ред. А. С. Павленко и А. М. Некрасова. М., «Энергия», 1972, 264 с.

49. Эрлихман Б. Л. Энергоэкономические расчеты гидроэлектростанций. М., «Энергия», 1969, 288 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Глава первая. Общие вопросы регулирования речного стока	6
1-1. Гидрологические основы гидроэнергетики	6
1-2. Речной сток как вероятностный процесс	12
1-3. Характеристика обеспеченности речного стока	18
1-4. Понятие об энергетической системе	23
1-5. Водоохранилища, нижний бьеф и их характеристики	33
1-6. Задачи и виды водноэнергетического регулирования	42
Глава вторая. Основы водноэнергетического регулирования	56
2-1. Общие положения	56
2-2. Расчет суточного и недельного регулирования	64
2-3. Расчет годового регулирования	68
2-4. Расчет многолетнего регулирования	85
2-5. Расчет каскадного и компенсирующего регулирования	95
2-6. Общие основы диспетчерского регулирования	102
Глава третья. Основы водноэнергетических расчетов при заданной нагрузке ГЭС	113
3-1. Общие положения	113
3-2. Коэффициент полезного действия ГЭС в данном режиме	114
3-3. Оптимизация внутростанционного режима ГЭС при постоянном напоре	122
3-4. Суточный режим работы ГЭС при заданном положении в графике нагрузки системы	130
3-5. Среднеэксплуатационный к. п. д. ГЭС	134
3-6. Структурная формула среднеэксплуатационного к. п. д. за сутки	137
3-7. Расчет режима работы водохранилища ГЭС за определенный период времени при заданном графике нагрузки	155
Глава четвертая. Общие характеристики ГЭС и ТЭС	164
4-1. Основные режимные особенности современных электростанций	164
4-2. Резервы энергетической системы	175
4-3. Балансы мощности и энергии в энергосистеме	183

Глава пятая. Работа ГЭС в энергетической системе	190
А. ГЭС, НЕ СВЯЗАННЫЕ МЕЖДУ СОБОЙ ПО ВОДОТОКУ	190
5-1. Общие положения	190
5-2. ГЭС без регулирования в энергетическом балансе системы	192
5-3. ГЭС с суточным регулированием в суточном графике нагрузки энергосистемы	195
5-4. ГЭС с суточным регулированием в годовом балансе мощности энергосистемы	200
5-5. Общие основы режимов работы ГЭС с годичным регулированием в энергосистеме	202
5-6. Общие основы режимов работы ГЭС с многолетним регулированием в энергосистеме	209
Б. ГИДРАВЛИЧЕСКИ СВЯЗАННЫЕ ГЭС	212
5-7. Основы режимов работы каскада ГЭС в энергосистеме	212
Глава шестая. Дополнительные вопросы суточных режимов современных энергосистем	216
6-1. Современные графики нагрузки энергосистем и проблема пиков	216
6-2. Проблема пиковых мощностей и способы покрытия пика нагрузки	220
Глава седьмая. Общие основы оптимизации режимов работы ГЭС в энергосистеме	228
7-1. Вступление	228
7-2. Общая формулировка задачи оптимального планирования управляемыми процессами	228
7-3. Некоторые методы математического программирования для решения оптимизационных задач	230
7-4. Некоторые методы учета ограничений в задачах математического программирования	245
7-5. Основные положения и общая формулировка задачи	248
7-6. Критерий оптимальности режимов энергосистемы	255
7-7. Математическая модель оптимизируемого режима энергосистемы	260
7-8. Определение оптимального режима энергосистемы по условию достижения минимума расхода условного топлива	264
Глава восьмая. Выбор основных параметров проектируемой ГЭС	269
8-1. Общие положения	269
8-2. Выбор установленной мощности ГЭС	273
8-3. Выбор отметки нормального подпорного уровня	283
8-4. Мощностной и топливный эффекты ГЭС	288
Глава девятая. Общие основы оптимизации развития энергетических систем с использованием ЦВМ	293
9-1. Общие положения	293
9-2. Определение оптимального развития энергетической системы	297
Заключение	304
Приложение. Некоторые элементы теории вероятностей, используемые в гидрологии	308
Список литературы	323
	327

ВАЛЕНТИН ИВАНОВИЧ ОБРЕЗКОВ
АЛЕКСАНДР МАТИАСОВИЧ ГОХМАН

**ГИДРОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ
В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ**

Редактор Н. К. Калинин
Редактор издательства Н. И. Крысько
Переплет художника А. А. Иванова
Технический редактор Г. Г. Хацкевич
Корректор В. С. Антипова

Сдано в набор 5/III 1973 г. Подписано к печати 26/X 1973 г. Т-16925
Формат 84×108^{1/2} Бумага типографская № 2
Усл. печ. л. 17,22 Уч.-изд. л. 17,88
Тираж 2 500 экз. Зак. 91 Цена 1 р. 10 к.

Издательство «Энергия». 113114, Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10.

Московская типография № 10 Союзполиграфпрома
при Государственном комитете Совета Министров СССР
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.
Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10.