

А.И. Ефименко, Г.Л. Рубинштейн

**ВОДОСБРОСНЫЕ СООРУЖЕНИЯ
САЯНО-ШУШЕНСКОЙ ГЭС**

Санкт-Петербург
2008

УДК 627.831/835

А.И. Ефименко, Г.Л. Рубинштейн. **Водосбросные сооружения Саяно-Шушенской ГЭС.** СПб.: Изд-во ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева», 2008.

Книга содержит анализ и обобщение результатов проектных работ, научных исследований, строительных работ и эксплуатации водосбросных сооружений гидроузла, не имеющего аналога в мировом гидротехническом строительстве.

Обосновывается необходимость отказа от компоновочных и ряда конструктивных решений проектного задания и реализации – впервые в отечественной практике – способа сопряжения бьефов и гашения энергии в гидравлическом прыжке на бетонном креплении.

Приводится информация об аварийных ситуациях в ходе строительства, мероприятиях по устранению их последствий и опыте последующей эксплуатации.

Книга может быть полезной для инженеров-гидротехников, проектировщиков, научных работников и строителей, связанных с созданием высоконапорных гидроузлов, и служить пособием для студентов соответствующих специальностей.

Печатается по решениям редакционно-издательского совета ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева» и Технического совета ОАО «Ленгидропроект».

Рецензент: *Кузьмин С.А.*, профессор, доктор техн. наук

ISBN 978-5-85529-135-3

© ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева», 2008

© ОАО «Ленгидропроект», 2008

ПРЕДИСЛОВИЕ

Водосбросные сооружения Саяно-Шушенской ГЭС (СШГЭС) с наибольшей в бывшем СССР мощностью и высокой (242 м) арочно-гравитационной плотиной до настоящего времени являются предметом внимания гидротехников – строителей и энергетиков. Причины этого заключаются, во-первых, в реализованном впервые в отечественной практике не допускавшемся ранее способе сопряжения бьефов и, во-вторых, в разного рода осложнениях в ходе строительно-монтажных работ.

Утвержденным в 1965 г. проектным заданием (главный инженер проекта *Г.А. Претро*) предусматривалось сопряжение бьефов *отброшенной* (носками-трамплинами) *струей* и гашение энергии в яме местного разрушения скалы. Это решение предопределяло неизбежность значительных осложнений эксплуатации самой гидроэлектростанции.

С предложением об отказе от использования решения проектного задания выступил в 1968 г. *Л.К. Доманский* вскоре после своего назначения на должность главного инженера проекта Саяно-Шушенского гидроэнергетического комплекса в составе СШГЭС и Майнского гидроузла. Это предложение было поддержано Техническим советом Ленгидропроекта и Ученым советом ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева, а его обоснование и обеспечение возможности реализации потребовало выполнения значительного (и во многом с использованием новых расчетных и экспериментальных методов) объема проектных и научно-исследовательских работ силами сотрудников Ленгидропроекта, ВНИИГ и других орга-

низаций. В дальнейшем в комплексе этих работ существенное место занимали и работы, связанные с анализом причин ряда осложнений и аварийных ситуаций, возникавших в ходе строительства.

Не имея возможности привести здесь список всех ведущих исполнителей, ответственных за обоснование и разработку проектно-сметной документации по основным сооружениям эксплуатационного и строительного периодов (некоторое представление о них можно составить из списка литературы), авторы считают своим долгом отметить сотрудников следующих организаций:

Ленгидропроект – *А.И. Ефименко* (главный инженер проекта СШГЭС с 1972 г.), *В.Н. Зайцев*, *Д.П. Левених*, *Б.Н. Леонтьев*, *Г.М. Элиас* (компоновка сооружений, расчеты прочности и устойчивости, разработка проектно-сметной документации);

ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева – *А.М. Швайништейн* (обоснование конструкций водобойного колодца, определение гидродинамических воздействий на него и ряд других сооружений, обзор зарубежного опыта строительства и эксплуатации высоконапорных водосбросов и др.); *А.А. Кручинина* и *М.Д. Рудакова* (пропуск строительных расходов, обоснование конструкций строительных водосбросов), *Н.И. Жаров* (кавитация и кавитационная эрозия), *Г.К. Дерюгин* в сотрудничестве с СКТБ «Мосгидросталь» (обоснование конструкций эксплуатационных водосбросов, а также исследование аэрации с целью защиты водосбросов от кавитационной эрозии);

Сибфилиал ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева – *В.В. Буханов* (крупномасштабные – на модели 1:12 – исследования эксплуатационного водосброса, организация, руководство, выполнение и анализ результатов натуральных гидравлических и гидродинамических исследований, в том числе и особенно на этапе реконструкции креплений дна водобойного колодца после его разрушения), *Т.В. Гавриленко* (лабораторные и натурные исследования эксплуатационных водосбросов гидроузла), *Н.А. Елисеев* (организация и выполнение лабораторных и натуральных исследований сооружений гидроузла);

СКТБ «Мосгидросталь» – *П.Е. Лысенко* (разработка по предложению Ленгидропроекта, а в дальнейшем обоснование со-

вместно с ВНИИГ и его Сибирским филиалом принципиально новой конструкции закрытого участка эксплуатационного водосброса);

СКТБ «Ленгидросталь» – *М. Переда* (главный инженер проектов механического оборудования строительных и эксплуатационных водосбросов);

НИС Гидропроекта – *Л.Д. Лентяев, Л.В. Смирнов, Ю.П. Войнов, Р.С. Гальперин, Г.Н. Цедров, В.М. Семенов* (исследования альтернативных вариантов сопряжения бьефов, мероприятий по борьбе с кавитационной эрозией, включая аэрацию с участием МГМИ (*Н.П. Розанов, А.Т. Кавешников*)).

Авторы, на протяжении многих лет активно участвовавшие в создании Саяно-Шушенской ГЭС, выражают надежду, что представленные в книге материалы позволят составить достаточно ясное представление об условиях строительства, ввода в эксплуатацию и о степени надежности сооружений гидроузла, в том числе и водосбросных.

Книга состоит из введения, 10 глав, заключения и списка литературных источников.

Авторы книги выражают глубокую признательность *Г.К. Дерюгину* за написание основной части пятой главы, посвященной обоснованию конструкций закрытых участков водосбросов, открытых лотков и участка их сопряжения с водобойным колодцем, а также части третьей главы, содержащей обоснование конструкций колодца и гидродинамического воздействия на них.

Авторы глубоко благодарны научному редактору книги *А.Б. Векслеру* за ценные рекомендации по усовершенствованию структуры книги и изложению материала.

Авторы искренне признательны рецензенту доктору технических наук, профессору СПбГПУ *С.А. Кузьмину*, все замечания которого практически были учтены при окончательном редактировании книги.

Авторы благодарны главному инженеру проекта СШГЭС *Б.Г. Ботвинову* и его заместителю *Д.С. Быкову* за предоставление ими необходимой информации и технической документации об условиях работы сооружений гидроузла после приемки СШГЭС в промышленную эксплуатацию.

Ценную помощь в оформлении материалов рукописи (включая иллюстрации) выполнили сотрудники ВНИИГ *М.В. Алексеевская, Е.М. Воронцова, Л.В. Рейнгард, Н.М. Славецкая* и Ленгидропроекта – *Т.П. Кочнева* и *Е.Ф. Куренкова*.

Особую благодарность авторы выражают *Т.С. Артюхиной* и сотрудникам редакционно-издательской группы за подготовку рукописи к печати и издание книги.

СОДЕРЖАНИЕ

	Предисловие	3
	Введение	7
Глава 1.	Природные условия, климатическая и гидрологическая характеристики створа	13
1.1.	Расчетные расходы эксплуатационных и строительных водосбросов. Водохозяйственные показатели	13
1.2.	Обоснование целесообразности применения на гидроузле глубинных водосбросов.....	17
1.3.	Изменения расчетных гидрологических характеристик при проектировании и строительстве гидроузла	19
Глава 2.	Обоснование компоновки гидроузла. Выбор способа сопряжения бьефов и гашения энергии сбросного потока	21
2.1.	Компоновка гидроузла и водосбросных сооружений в проектном задании	21
2.2.	Гидравлические исследования вариантов компоновки гидроузла при сопряжении бьефов отброшенной струей и гашением энергии в яме размыва.....	28
2.3.	Обоснование выбора альтернативного варианта сопряжения бьефов, гашения энергии и компоновки гидроузла на стадии технического проекта.....	41
2.4.	Анализ зарубежного опыта проектирования, строительства и эксплуатации водосбросных сооружений высоконапорных гидроузлов.....	45
2.5.	Предварительная оценка динамических воздействий, обусловленных гашением энергии сбросного потока в водобойном колодце, на сооружения гидроузла.....	56

2.6.	Экспертиза технического проекта Саяно-Шушенской ГЭС (1969 г.). Дополнительные исследования и проектные проработки	62
2.7.	Компоновка основных сооружений гидроузла. (Технический проект 1971 г.)	71
Глава 3.	Водобойный колодец. Обоснование конструкции и основные характеристики	77
3.1.	Обоснования основных параметров водобойного колодца (технический проект)	78
3.2.	Гидравлические и гидродинамические исследования для отработки оптимальной конструкции водобойного колодца.....	94
3.3.	Гидродинамические нагрузки и воздействия.....	107
3.4.	Основные особенности конструкций водобойного колодца.....	123
Глава 4.	Временные водосбросы. Организация пропуска строительных расходов	133
4.1.	Основные положения схемы пропуска строительных расходов по проектному заданию	133
4.2.	Гидравлические исследования условий пропуска строительных расходов для варианта компоновки гидроузла с сопряжением бьефов отброшенной струей (1966 – 1969 гг.)	136
4.3.	Пусковые комплексы Саяно-Шушенской ГЭС и влияние их изменений на условия пропуска строительных расходов.....	154
4.4.	Гидравлические обоснования I очереди пропуска строительных расходов. Перекрытие русла. Пропуск строительных расходов II очереди	159
4.5.	Гидравлические обоснования строительных водосбросов для периода временной эксплуатации ГЭС.....	180
4.6.	Механическое оборудование строительных водосбросов.....	223
4.7.	Попусковый водосброс в составе строительных водосбросов II яруса.....	229

4.8.	Кавитационные повреждения строительных водосбросов.....	236
4.9.	Натурные исследования	246
Глава 5.	Эксплуатационный водосброс. Обоснование конструкции тракта	259
5.1.	Закрытый участок водосброса	259
5.2.	Открытый участок водосброса.....	277
Глава 6.	Половодье 1985 г. Разрушение крепления дна водобойного колодца	289
6.1.	Готовность сооружений и механического оборудования гидроузла к пропуску через эксплуатационные водосбросы половодья 1985 г.....	289
6.2.	Пропуск паводка 1985 г. Разрушение крепления водобойного колодца.....	290
6.3.	Гидравлические исследования (экспериментальные и расчетно-теоретические) для обоснования проекта реконструкции крепления водобойного колодца.....	298
6.4.	Причины и механизм разрушения крепления дна водобойного колодца.....	316
Глава 7.	Реконструкция крепления водобойного колодца	332
7.1.	Первая очередь реконструкции крепления водобойного колодца. Пропуск паводка 1986 г.	332
7.2.	Вторая очередь реконструкции крепления водобойного колодца.....	362
7.3.	Пропуск паводка 1988 г.....	366
7.4.	Третья очередь реконструкции крепления водобойного колодца	402
7.5.	Натурные исследования 1991 г., выполненные после реконструкции крепления.....	409
Глава 8.	Вибрации сооружений гидроузла и прилегающей территории	421
8.1.	Общие замечания	421

8.2.	Исследования вибрации сооружений в период пропуска строительных расходов и временной эксплуатации ГЭС	422
8.3.	Исследования вибрации сооружений гидроузла при работе эксплуатационных водосбросов	430
Глава 9.	Эксплуатация водосбросных сооружений в 1992 - 2006 гг.	447
9.1.	Инструкция по эксплуатации водосбросных сооружений	447
9.2.	Изменения условий пропуска расходов через сооружения гидроузла. Уточнение Инструкции по эксплуатации водосброса	457
9.3.	Результаты обследования водосбросных сооружений	462
Глава 10.	Дополнительные мероприятия по обеспечению надежности и безопасности водосбросных сооружений	474
10.1.	Предложения по дополнительным мероприятиям по обеспечению надежности и безопасности сооружений гидроузла	474
10.2.	Береговой водосброс	480
10.3.	Пирсы-растекатели для водобойного колодца.....	484
	Заключение	491
	Список литературы	502