

НПО «ЭЛСИБ» ПАО — это более чем 60-летний опыт создания генераторов для крупных гидроэлектростанций

Реклама



Вилуйские ГЭС-1 и ГЭС-2



Требования к параметрам гидроагрегатов для каждой ГЭС индивидуальны — для каждого заказчика НПО «ЭЛСИБ» проектирует и изготавливает уникальный гидрогенератор.

Компетенции инженеров, накопленный опыт, применение современных технологий и материалов позволяют создавать эффективные, долговечные и надежные электрические машины, по техническим и эксплуатационным параметрам соответствующие мировому научно-техническому уровню.

Компания выпускает гидрогенераторы различного исполнения в широком диапазоне мощностей, частот вращения. Генераторы под маркой «ЭЛСИБ» эксплуатируются в различных условиях и режимах на гидроэлектростанциях на Кавказе, в России, Средней Азии, Украине, Сирии, Китае.

НПО «ЭЛСИБ» ПАО, используя многолетний опыт производства мощных гидрогенераторов, предлагает широкий спектр мероприятий по модернизации и ремонту гидрогенераторов любых фирм-производителей, установленных на действующих ГЭС.

По результатам обследования гидрогенераторов инженеры-конструкторы выдают рекомендации по ремонту и модернизации машины, определяют возможности повышения надежности, улучшения теплового и вибрационного состояния; повышения мощности, эффективности или расширения допустимых режимов работы по диаграмме мощности.

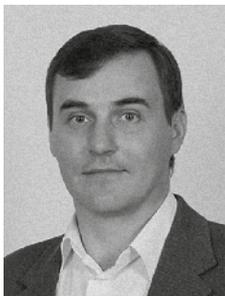


630088 Россия, г. Новосибирск, ул. Сибиряков-Гвардейцев, 56
Тел.: +7 (383) 298-91-19, +7 (383) 298-91-82
E-mail: sales@elsib.ru
www.elsib.ru

ГИДРОГЕНЕРАТОРЫ ДЛЯ ЗАРАМАГСКОЙ ГЭС-1



Шамин В. Г.,
главный конструктор
по проектированию гидрогенераторов
НПО «ЭЛСИБ» ПАО, г. Новосибирск



Вишневский Л. С.,
главный конструктор
гидрогенераторов НПО «ЭЛСИБ» ПАО

Аннотация. Представлены технические решения, принятые при изготовлении гидрогенераторов для Зарамагской ГЭС-1, позволившие достичь оптимальных при заданных условиях показателей металлоемкости и снизить трудозатраты на изготовление. Дана сравнительная характеристика генераторов Зарамагской ГЭС с аналогичными, обозначены особенности и преимущества новых генераторов.

Ключевые слова: гидрогенератор, генератор с воздушным охлаждением, Зарамагская ГЭС-1, металлоемкость гидрогенератора.

Строительство Зарамагских ГЭС в составе Головной ГЭС и ГЭС-1 (Республика Северная Осетия — Алания) вышло на завершающий этап, когда после окончания основных строительных работ продолжилась поставка узлов и деталей гидрогенераторов на ГЭС-1 с последующим монтажом и пуском в эксплуатацию — планируются в конце 2018 г.

Гидроагрегат Головной ГЭС с генератором мощностью 36,7 МВ*А и частотой вращения 200 об/мин был пущен в эксплуатацию в 2010 г. и успешно работает по настоящее время (рис. 1).

Поставку генераторов для Головной ГЭС выполнило, а для ГЭС-1 в настоящее время осуществляет научно-производственное объединение «ЭЛСИБ» ПАО — одно из ведущих предприятий России по изготовлению гидрогенераторов для гидравлических электростанций.

Выиграв в 2008 г. конкурс на проектирование и изготовление двух генераторов мощностью 203,5/173 МВ*А/МВт, напряжением 15750 В, частотой вращения номинальной/угольной 300/540 об/мин для сопряжения с ковшовой гидротурбиной производства фирмы Voith Siemens Hydro Power Generation GmbH & Co, НПО «ЭЛСИБ» приступило к их созданию.

За 55-летнюю историю предприятия, на момент начала работы над

проектом, в НПО «ЭЛСИБ» был изготовлен 151 и реконструировано 53 гидрогенератора с косвенным воздушным охлаждением. Распределение генераторов с воздушным охлаждением, созданных объединением, в диапазоне по мощности и частоте вращения представлено на рис. 2.

Видно, что разрабатываемый генератор значительно расширит границы наших возможностей в создании более мощных и быстроходных генераторов, определяемые действующими генераторами для Токтогульской, Ирганайской, Андижанской и Гиссаракской ГЭС.

По требованиям технического задания (далее ТЗ), генератор должен быть вертикальным, подвешеного исполнения с подпятником, расположенным на верхней крестовине, с одним направляющим подшипником,



Рис. 1. Машинный зал Головной ГЭС

HYDRO GENERATORS FOR ZARAMAGSKAYA HPP-1
V. Shamin, hydro generators project manager, ELSIB, Novosibirsk
L. Vishnevsky, chief design engineer of hydro generators, ELSIB

Abstract. The article presents technical solutions in the manufacture of hydro generators for Zaramagskaya HPP-1. The solutions made it possible to achieve optimum metal consumption indicators under the given conditions and to reduce manufacturing cost. The authors provided comparative characteristics of generators of Zaramagskaya HPP with similar ones as well as features and advantages of new hydro generators.

Keywords: hydro generator, air-cooled generator, Zaramagskaya HPP-1, metal consumption per a hydro generator.

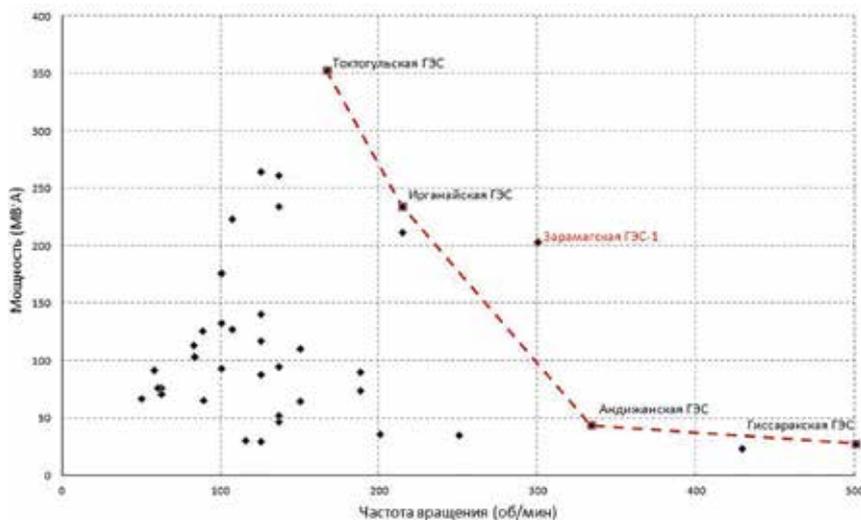


Рис. 2. Развитие гидрогенераторостроения в НПО «ЭЛСИБ» ПАО

встроенным в центральную часть верхней крестовины.

Рабочая документация была выполнена с использованием лицензированной системы параметрического проектирования T-FLEX CAD — разработки российской фирмы ЗАО «Топ Системы». Разрез на трехмерной модели генератора показан на рис. 3.

Требования ТЗ по компоновке гидроагрегата, высокие номинальная и угонная частоты вращения, высокий гарантированный КПД при заданном коэффициенте мощности и другие условия предопределили и создали определенные трудности при разработке генератора, который бы обеспечивал требуемые параметры и надежность при относительно низких значениях материалоемкости и трудоемкости при его изготовлении.

Так, компоновка с одним направляющим подшипником генератора и одним — турбины обладает увеличенным пролетом вала между опорами гидроагрегата, по сравнению с трехопорной схемой. Для обеспечения требуемого уровня критической частоты вращения ротора агрегата по продольным колебаниям потребовалось ужесточить вал агрегата, состоящий из вала генератора и вала турбины.

Из-за отказа поставщика турбины вносить пропорциональные изменения в вал турбины это ужесточение было полностью выполнено за счет вала генератора. Диаметральные размеры вала (рис. 4) выбраны максимально возможными,

что привело к росту массы вала до 76 т, а вместе с остовом и подставками для крепления при транспортировке — до 138 т.

Высокая частота вращения — это необходимость усиленного крепления практически всех элементов ротора от действия центробежных сил при угонной частоте вращения и применения высокопрочных материалов. Это — сердечник полюса, обод, крепление междуполюсных соединений, демпферной обмотки, катушек полюсов, тормозных сегментов. Сердечники полюсов собраны из листов толщиной 2 мм стали марки Ст45. Шихтованный обод собирается из сегментов в четыре полюсных деления стали марки 10Г2С1 толщиной 4 мм, смещенных по окружности в соседних слоях на половину полюсного деления.

А высокий КПД — это повышенные требования к марке электротехнической стали, к уровню торцевых потерь в статоре, вентиляционных потерь и т. д.

В конструкции генератора в основном применены технические решения, ранее отработанные в НИР и ОКР на основе моделей и макетов [1], проверенные и хорошо зарекомендовавшие себя на других генераторах [2, 3]. Использовано семь технических решений на основе изобретений работников завода, в том числе:

- конструкция торцевой зоны по изобретению а.с. № 658665 (СССР) [4], ранее была реализована в генераторах двенадцати ГЭС;
- конструкция крепления катушек полюсов по изобретению а.с.

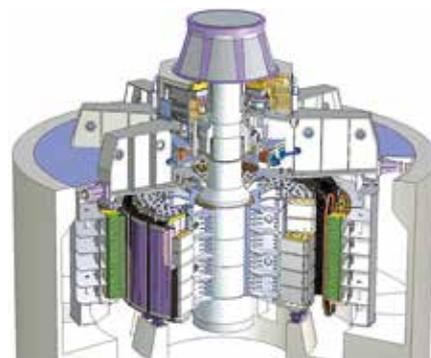


Рис. 3. Разрез на 3D модели генератора

№ 1029337 (СССР) [5], ранее была реализована в быстроходных генераторах Колымской и Ирганайской ГЭС.

Статор выполнен разъемным из четырех секторов, что позволило осуществить большую часть его сборки квалифицированным персоналом непосредственно на заводе и сократить срок монтажа на ГЭС, где монтажной организацией будет осуществляться только окончательная сборка секторов в кольцо и укладка обмотки в зону стыков.

Обмотка статора принята двухслойная стержневая петлевая с четырьмя параллельными ветвями на фазу. Для снижения потерь стержни выполнены с транспозицией элементарных проводников в пазовой части на 360 электрических градусов. Петлевая обмотка, по сравнению с волновой, обеспечивает меньшую длину витка и вылетов лобовых частей, что также позволило снизить потери и минимизировать пролет вала между опорами гидроагрегата.

Принятое число пазов сердечника статора 360 соответствует целому числу пазов на полюс и фазу, что позволило снизить вибрации сердечника статора за счет минимизации уровня субгармонических в кривой намагничивающей силы, вызванных дробностью числа пазов на полюс и фазу. При этом минимизация коэффициента телефонных гармоник линейного напряжения достигнута за счет оптимального выбора величины шага по пазам стержней демпферной обмотки 57 мм (рис. 5).

Корпусная изоляция стержней типа «Монолит» класса нагревостойкости «F» по ГОСТ 8865-93 выполнена по созданной в НПО «ЭЛСИБ» технологии на основе непропитанной ленты, имеющей значительную прочность и

гибкость, с последующей вакуум-нагнетательной пропиткой эпоксидным компаундом под давлением (VPI технология).

Изоляция типа «Монолит» была впервые применена в обмотках гидрогенераторов Капчагайской ГЭС (в 1970 г. на 13800 В) и Токтогульской ГЭС (в 1973 г. на 15750 В). Интересен факт — эти обмотки успешно эксплуатируются до настоящего времени без замены, т. е. более 45 лет, что подтверждает гарантированный срок службы не менее 40 лет.

Крестовина — грузонесущая лучевого типа. Состоит из цельносварной центральной части и восьми отъемных лап двутаврового сечения (рис. 6). В центральной части крестовины расположен подшипник с масляной ванной и маслоохладителями. Лапы крестовины опираются на верхнюю полку статора, распираются в фундамент распорными домкратами, передающими радиальные усилия на фундамент. Сверху на центральную часть крестовины устанавливается ванна масляная с подпятником.

Для улучшения работоспособности подпятника и подшипника в них применены сегменты, облицованные эластичным металлопластмассовым покрытием. За счет использования в покрытии фторопласта-4, обладающего необходимыми физико-механическими и триботехническими свойствами, обеспечивается гарантированная работа по условиям режимной мобильности гидроагрегата:

- длительная безотказная работа при частотах вращения от 15 до 110% номинальной частоты вращения, работа в течение 30 мин. при частоте вращения от 110% номинальной до угонной;
- работа при угонной частоте вращения в течение не более 5 мин.;
- работа в течение не более 15 мин. с номинальной частотой вращения без подачи охлаждающей воды при условии достижения допустимых температур (предупредительных уставок) сегментов подпятника и подшипника, горячего масла в ваннах;

- пуск агрегата без предварительного подъема ротора на тормозах-домкратах после длительной стоянки агрегата;

- пуск агрегата при температуре масла в ваннах не ниже +10 °С;
- немедленный пуск агрегата после остановки, не связанной с действием защиты от перегрева подпятника и подшипника;
- останов агрегата на выбеге без торможения;
- прокрутка ротора при ремонтах без смазывания сегментов;
- до 5 пусков в сутки, не менее 700 пусков в год.

Начальное торможение вращающихся частей гидроагрегата осуществляется электрическим методом, а при снижении частоты вращения до 15 об/мин — допол-



Рис. 4. Вал ротора на консервации

териалоемкостью и трудоемкостью изготовления, при обязательном выполнении требований ТЗ. Все требования в части параметров и допустимых режимов выполнены, и гидрогенератор соответствует требованиям утвержденного ТЗ.

При этом параметры находятся на уровне аналогичных генераторов Ирганайской ГЭС и Токтогульской ГЭС (данные сравнения генератора

РАЗРАБОТЧИКАМИ ГЕНЕРАТОРА БЫЛИ ПРИЛОЖЕНЫ ВСЕ УСИЛИЯ, ЧТОБЫ СОЗДАТЬ ГЕНЕРАТОР С МИНИМАЛЬНОЙ МАТЕРИАЛОЕМКОСТЬЮ И ТРУДОЕМКОСТЬЮ ИЗГОТОВЛЕНИЯ, ПРИ ОБЯЗАТЕЛЬНОМ ВЫПОЛНЕНИИ ТРЕБОВАНИЙ ТЗ. ВСЕ ТРЕБОВАНИЯ В ЧАСТИ ПАРАМЕТРОВ И ДОПУСТИМЫХ РЕЖИМОВ ВЫПОЛНЕНА, И ГИДРОГЕНЕРАТОР СООТВЕТСТВУЕТ ТРЕБОВАНИЯМ УТВЕРЖДЕННОГО ТЗ

нительно с помощью механической системы торможения, посредством шестнадцати тормозов-домкратов, установленных под ободом ротора на фундаменте.

Для удобства обслуживания, осмотра и ремонта генератор снабжен локальной системой освещения внутри гидрогенератора.

В поставку входит система обогрева, предназначенная для предотвращения конденсации влаги на обмотках во время длительной стоянки генератора.

Для отопления машинного зала ГЭС в холодное время года предусмотрен частичный отбор горячего воздуха при работе генератора под нагрузкой. Для этого на корпусе статора установлены патрубки выпуска горячего воздуха в машинный зал через люки перекрытия крестовины.

Разработчиками генератора были приложены все усилия, чтобы создать генератор с минимальной ма-

Зарамагской ГЭС-1 с аналогами сведены в табл. 1) или выше, а удельные показатели по расходу материалов и «мощность на полюс» превосходят аналоги. Значение показателя «мощность на полюс» является максимально достигнутым среди гидрогенераторов с воздушным охлаждением, разработанных в России.

Изготовление обоих генераторов было выполнено в период с 2010 по 2012 гг. Из-за необходимости про-

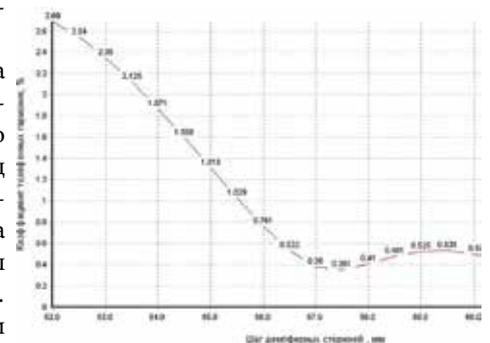


Рис. 5. Зависимость коэффициента телефонных гармоник

Табл. 1. Сравнение параметров генератора Зарамагской ГЭС-1 и аналогов

Наименование параметра	Единица измерения	Наименование ГЭС		
		Зарамагская 1	Ирганайская	Тонтогульская
Основные номинальные данные				
Тип		СВ685/243-20	СВ865/232-28	СВ1100/250-36
Год разработки проекта		2010	1988	1972
Исполнение подвесное		без нижней крестовины	с нижней крестовиной	с нижней крестовиной
Мощность номинальная	МВА/МВт	203,5/173	235/200	353/300
Коэффициент мощности	о.е.	0,85	0,85	0,85
Напряжение сети	В	15750	15750	15750
Частота вращения номинальная/угонная	об/мин	300/540	214,3/385	166,7/310
Коэффициент угона	о.е.	1,8	1,8	1,86
Основная геометрия активного ядра				
Полюсное деление	м	0,9268	0,8527	0,8727
Число пазов		360	420	594
Электромагнитные нагрузки				
Линейная нагрузка	А/м	72443	66417	81555
Индукция в воздушном зазоре	Тл	0,844	0,834	0,771
Расчетный коэффициент полезного действия	%	98,4	98,4	98,4
Параметры				
Индуктивные сопротивления:	%			
Xd		127,9	118,3	137,4
Xd'		30,5	33,3	36,6
Xd''		15,9	18,0	17,6
Отношения короткого замыкания (ОКЗ)	о.е.	0,844	0,964	0,861
Статическая устойчивость	о.е.	2,01	2,24	2,15
Массо-габаритные показатели				
Масса генератора	т	833	1039	1554
Мощность на полюс	кВА	10175	8393	9806
Коэффициент использования	ВА/ (м³*об/мин)	8019	8184	8472
Удельная масса эл. стали	кг/кВА	0,606	0,667	0,603
Удельная масса меди	кг/кВА	0,147	0,237	0,207
Удельная масса генератора	кг/кВА	4,093	4,421	4,403

ведения технических изменений, вызванных неожиданными непростыми ситуациями при строительстве, по требованию заказчика, поставка оборудования на ГЭС была прервана, а монтаж агрегатов был отложен. Это привело к тому, что часть поставленного оборудования потребовалось хранить в условиях ГЭС, а не поставленную часть — в условиях производства на НПО «ЭЛСИБ». При этом срок хранения значительно превысил проектный срок консервации и хранения. Периодический контроль состояния законсервированного оборудования в местах хранения (с вскрыти-



Рис. 6. Крестовина после мехобработки плоскости сопряжения с корпусом статора

ем упаковки, проверкой состояния хранящихся узлов и деталей, при необходимости проведением пере-консервации и восстановлением упаковки) подтвердил надежность и долговечность принятой системы упаковки и консервации, в том числе и для оборудования с высокоточной и тщательной чистовой обработкой.

Начавшаяся в текущем году доставка оборудования и новые, непроектные, требования для обеспечения сжатых сроков монтажа и ввода в эксплуатацию оборудования ГЭС вызвали необходимость оперативного решения непредвиденных разноплановых задач, среди которых можно выделить:

- выполнение насадки остова ротора на вал в заводских условиях, разработку и согласование негабаритной транспортировки по железной дороге (вместо насадки, согласованной в проекте на монтаже, и отдельной транспортировки);
- сборку статора на монтажной площадке и адаптацию статора после сборки к переносу с монтажной площадки на фундамент в шахту генератора (вместо сборки статора

непосредственно на фундаменте, исключая перенос).

Своевременная постановка и решение указанных задач, в сочетании с плодотворным сотрудничеством во время монтажа и пусконаладочных работ специалистов заказчика, строителей, поставщиков оборудования, генпроектировщика и монтирующей организации, позволят уверенно двигаться к пуску ГЭС-1 в конце 2018 г.

Литература

1. Постников А. С., Шамин В. Г. и др. Новые конструкции торцевой зоны гидрогенераторов // Электротехническая промышленность. Электрические машины. 1983. № 2. С. 8–10.
2. Адаменко В. В., Игнатьев В. С. и др. Исследования гидрогенератора СВ1100/250-36У4 мощностью 300000 кВт с носенным воздушным охлаждением // Электротехническая промышленность. Электрические машины. 1982. № 4. С. 21–23.
3. Адаменко В. В., Грюнвальд Г. К. и др. Реконструкция с целью повышения мощности действующих гидрогенераторов СВВ780/190-32 Вилюйской ГЭС-1 // Электрические станции. 1982. № 3. С. 67–68.
4. Князев О. А., Шамин В. Г. и др. Синхронная явнополюсная электрическая машина. Патент РФ А.С. № 658665.
5. Постников А. С., Адаменко В. В. и др. Ротор синхронной явнополюсной машины. А.С. № 1029337.