

Опыт строительства каскада ГЭС на реке Гранде-Де-Сантьяго в Мексике

Михайлов М. Г.* , Усков И. О., главные инженеры проекта
(ОАО “Силовые машины”)

Приводятся особенности организации строительства ГЭС Эль Кахон и Ла Йеска, примеры решения сложных технических проблем.

Ключевые слова: каскад ГЭС, тендер, компоновка основных сооружений, сроки строительно-монтажных работ, плотина, отводные туннели, водосброс, водоприемник, подземное здание ГЭС, уравнильный резервуар, токопроводы, электрическая подстанция, ввод гидроагрегатов в эксплуатацию, натурные испытания.

Demonstrates the special aspects of the organization of hydropower construction. The examples of complex technical decisions during the construction are given.

Key words: the cascade of HYDROELECTRIC POWER STATION, the tender, configuration of the basic constructions, terms of civil and erection works, a dam, diversion tunnels, a spillway, a water intake, a underground building of HYDROELECTRIC POWER STATION, the leveling tank, buses, electric substation, put of hydrounits into operation, field tests.

В трёх ущельях горной р. Гранде-де-Сантьяго возведены три крупные гидроэлектростанции Мексики: Агуамильпа (3×320 МВт, 2,1 млрд. кВтч), Эль Кахон (2×375 МВт, 1,2 млрд. кВт · ч) и Ла Йеска (2×375 МВт, 1,2 млрд. кВт · ч). Эти станции предназначались для энергоснабжения крупного индустриального мегаполиса — г. Гвадалахара и других энергопотребителей в штатах Найярит и Халиско, на территории которых располагаются гидроузлы.

Сооружение нижней ступени каскада — ГЭС Агуамильпа началось в 1990 г. и завершилось в 1994 г. В январе 2003 г. продолжилось освоение гидроэнергетических ресурсов реки строительством следующей станции — ГЭС Эль Кахон, а в 2007 г. началось строительство ГЭС Ла Йеска. Очередность возведения ГЭС устанавливалась на основе перспективных планов социально-экономического развития региона и поддержки местными органами власти и населением.

Тендерную документацию по всем трём объектам разработал заказчик проекта — Федеральная Энергетическая Комиссия Мексики (Comisión Federal de Electricidad — CFE). Это крупная государственная компания, монопольно занимающаяся генерацией и распределением электроэнергии (209 электростанций общей мощностью 52,5 млн. кВт), имеющая многолетние традиции в гидроэнергетическом строительстве, основанные на использовании надёжных и проверенных временем технических решений.

* Mikhaylov_MG@spb.power-m.ru

Отличительной особенностью проектов ГЭС на р. Гранде-де-Сантьяго является то, что все три станции имеют одинаковый состав сооружений (рис. 3, 12), схожие компоновочные и конструктивные решения как по гидротехнической части, так и по характеристикам гидросилового оборудования. Все гидроузлы обладают высокими (около 200 м) каменнонабросными плотинами с железобетонными противофильтрационными экранами, береговыми лотковыми водосбросами, оборудованными сегментными затворами. Схожи и схемы гидроэнергетических сооружений с наклонным водоприёмником, индивидуальными подводящими туннельными водоводами, подземным зданием ГЭС, максимально приближённым к водоприёмнику, подземным уравнильным резервуаром и протяжённым отводящим туннелем (рис. 1, 2). Эти схемы являются универсальным решением, которое заказчик традиционно использовал как на данных гидроэлектростанциях, так и во многих других проектах. На трёх гидроэлектростанциях каскада схожи и расчётные напоры: 145,1; 156,5 и 163,3 м соответственно, а также мощности гидроагрегатов. Если на ГЭС Агуамильпа установлено три гидроагрегата единичной мощностью по 320 МВт, то на ГЭС Эль Кахон и Ла Йеска — по два гидроагрегата единичной мощностью 375 МВт. На всех ГЭС были одинаковы такие параметры гидроагрегата, как синхронная частота вращения 150 мин^{-1} , номинальное напряжение генератора 17 кВ (на ГЭС Агуамильпа — 13,8 кВ), частота электрического тока 60 Гц. Это позволило использовать схожие конструкции радиально-осевых гидротурбин с опорой подпятника на крышку турбины, с диаметром рабочего колеса 5,3 м (на ГЭС Агуамильпа —

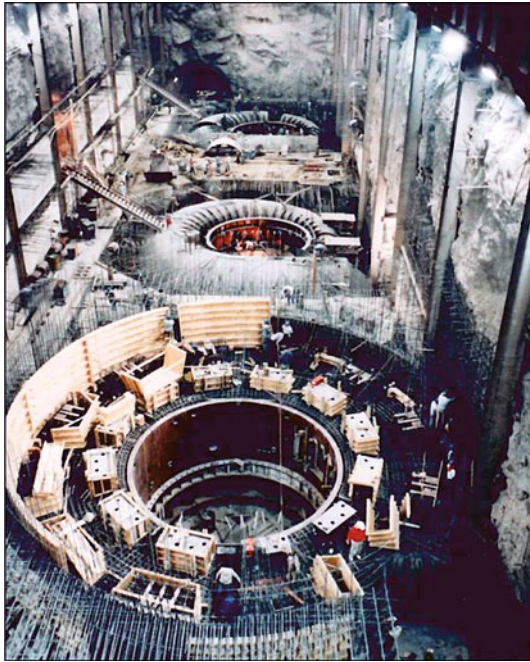


Рис. 1. Подземное здание ГЭС Агуамильпа: монтаж гидроагрегатов

5,2 м) и зонтичных гидрогенераторов с косвенным воздушным охлаждением. Однако были и отличительные особенности. В частности, гидротурбины ГЭС Эль Кахон и Ла Йеска оборудованы встроенным кольцевым затвором для предотвращения щелевой кавитации между лопатками направляющего аппарата в период останова гидроагрегата, чего не предусматривалось на ГЭС Агуамильпа. Применение кольцевого предтурбинного затвора вместо традиционного дискового обусловлено экономией стоимости подземных работ по сооружению машинного зала.

В данной статье изложен опыт строительства гидроэлектростанций Эль Кахон и Ла Йеска. Ин-

формация о строительстве ГЭС Агуамильпа опубликована ранее в работах [1, 2].

Строительство ГЭС Эль Кахон было организовано на условиях “под ключ” с планируемым сроком пуска двух гидроагрегатов в промышленную эксплуатацию 28 февраля и 31 мая 2007 г. Согласно требованиям тендера, общая продолжительность строительства ГЭС Эль Кахон составляла 4,5 года, что являлось важным фактором, определяющим инвестиционную привлекательность объекта. За срыв сроков ввода гидроагрегатов заказчиком предусматривались жёсткие штрафные санкции, которые зависели от времени задержки: 1 день — 62 500 долл. США, 1 неделю — 437 500 долл. США, 1 месяц — 1 875 000 долл. США, 2 месяца — 5 437 000 долл. США и т.д., с максимальным пределом до 16,4 млн. долл. США.

Среднегодовая выработка электроэнергии ГЭС Эль Кахон составляла 1,2 млрд. кВт·ч, установленная мощность — 750 МВт. Высокие энергетические показатели объекта достигались путем применения гидросилового оборудования с высоким уровнем средневзвешенного КПД: для гидротурбины — 95,04 %, для гидрогенератора — 98,68 %. За невыполнение гарантий по КПД предусматривались штрафы, размер которых зависел от разницы между заявленной величиной и реальной: 0,1 % — штраф 1,5 млн. долл. США, 1 % — штраф 15 млн. долл. США и т.д., с максимальным пределом до 30,4 млн. долл. США. Эти штрафные санкции, как и другие, в случае необходимости удерживались с помощью частичного снятия банковских гарантий подрядчика, которые предусматривались тендером для обеспечения должного исполнения контракта.

В ходе исполнения контракта заказчик контролировал проектные работы, осуществлял ревизию и согласование проектно-конструкторской документации (ПКД). Силами своего подразделения Ла-

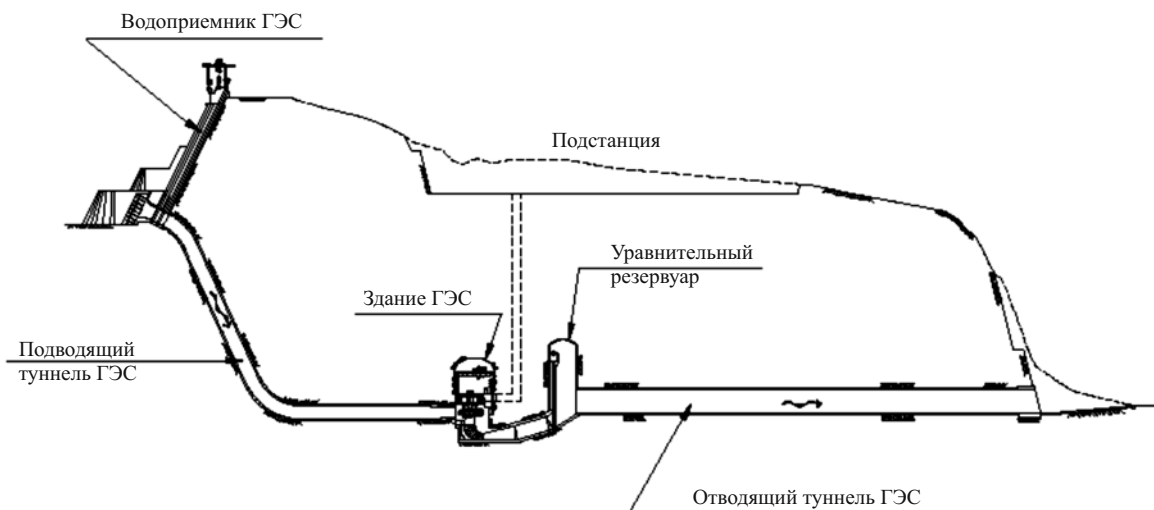


Рис. 2. Продольный разрез по гидроэнергетическим сооружениям ГЭС Эль Кахон

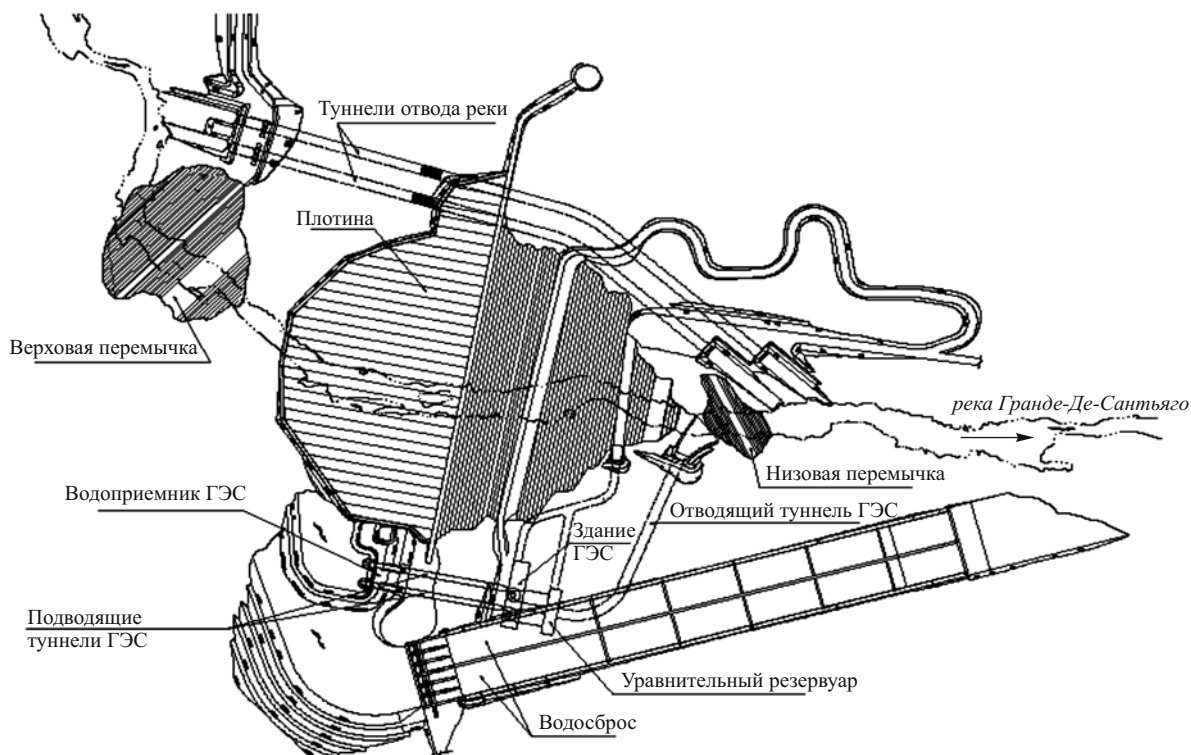


Рис. 3. План гидроузла Эль Кахон

боратория контроля качества (Laboratorio de Pruebas de Equipos y Materiales — LAPEM) и других собственных надзорных структур заказчик осуществлял контроль всех этапов изготовления оборудования в соответствии с заводскими программами контроля качества, строительно-монтажных работ и календарных сроков их выполнения. Поскольку строительство велось на заёмные средства, а заказчик рассчитывался с подрядчиком лишь по факту завершения строительства и пуска агрегатов в эксплуатацию, в инспекциях принимали участие технические эксперты от банков-инвесторов, предоставивших кредиты на строительство ГЭС.

Характерной особенностью тендера по ГЭС Эль Кахон являлась высокая детализация требований заказчика, изложенных в общих и частных технических спецификациях с изменениями и дополнениями к исходному проекту. В тендерных материалах оговаривались содержание технико-коммерческого предложения (ТКП) и методика его оценки заказчиком, а также те параметры гидросилового оборудования, которые должны быть гарантированы подрядчиком и не могут изменяться.

По строительной части тендер также не оставлял возможностей для каких-либо изменений по сооружениям напорного фронта — глухой и водосливной плотинам и водоприёмнику ГЭС, имеющим особое значение для безопасности гидроузла. Подрядчик имел право изменить тип и расположе-

ние машинного зала, представив кроме основного ещё и альтернативный вариант ТКП. Однако проработки альтернативного варианта необходимо было подтвердить соответствующим комплектом чертежей и расчётов (риск возникновения резонанса, влияние переходных гидравлических процессов и т.д.), а самое главное, в этом случае все риски, связанные с природной изученностью створа, подрядчик принимал на себя. Это требование оказало сдерживающее влияние на участников конкурса по разработке альтернативных вариантов.

Конкретика исходных требований и последующий жёсткий контроль в ходе исполнения контрак-



Рис. 4. Плотина и входные оголовки туннелей отвода реки ГЭС Эль Кахон



Рис. 5. Плотина и водохранилище ГЭС Эль Кахон

та являются отличительной особенностью проектов гидроэнергетического строительства и традиций CFE. В других странах Латинской Америки, например в Бразилии или в Аргентине, где часто используется концессионная форма организации строительства, как правило, предоставляется больше свободы подрядчику для оптимизации базового проекта, представленного в тендере, вплоть до возможности смещения створа плотины, изменения компоновки и типов гидротехнических сооружений, параметров гидросилового оборудования.

Конкурс по ГЭС Эль Кахон проводился единым лотом, без разделения торгов на строительную и электромеханическую части и без дробления каждой из этих частей на отдельные сооружения и виды оборудования. Таким образом, заказчик хотел иметь дело с единым ответственным юридическим лицом в виде консорциума, объединяющего представителей финансовых групп, строительных компаний и поставщиков технологического оборудования. Одним из претендентов на поставку оборудования была российская компания ОАО «Силовые машины» (СМ). Учитывая, что строительная часть гидроузла составляла около 80 % полной стоимости строительства, на предконкурсном этапе ОАО «СМ» искало возможность войти в соглашение с сильным лидером, который бы мог предложить конкурентную стоимость строительных работ и имел бы значительный политический вес в стране. Такой компанией в Мексике являлась фирма «Ingenieros Civiles Asociados» (ICA), занимающаяся реализацией крупных инфраструктурных проектов общенационального масштаба — сооружением автодорог, мостов, аэропортов, метрополитена и гидроэлектростанций. Важную роль сыграло то обстоятельство, что компания «ICA» совместно с ОАО «СМ»/«Энергомашэкспорт» успешно построила и ввела в эксплуатацию ГЭС Агуамильпа. Этот позитивный опыт оказался востребован при



Рис. 6. ГЭС Эль Кахон: монтаж статора гидротурбины

формировании нового консорциума для строительства ГЭС Эль Кахон на основе сотрудничества и солидарной ответственности компаний «ICA» и «СМ».

Необходимо отметить существенный объем работы, выполненный специалистами СМ при подготовке ТКП. Заказчику было передано большое количество заполненных формуляров, различных каталогов, пояснительных записок, чертежей, схем и т.д., представленных в установленной форме, чтобы точно выполнить все формальные требования тендера. На этом этапе огромное значение имела работа агентов СМ в Мексике, которые осуществляли непрерывную работу с заказчиком, четко отслеживали выпуски многочисленных ревизий тендерной документации. Это давало возможность оперативно вносить необходимые изменения и постоянно актуализировать ТКП СМ.

Конкурс состоялся в феврале 2003 г. В нём принимали участие три консорциума, представивших ТКП со стоимостью строительства:

ICA — ADISA — La Peninsular — СМ — 748 млн. долл. США; General Electric — Camargo Correa — Andrade Gutierrez — 812 млн. долл. США; Aristos — Constructora Cota — Tradeco — Nacional — Torres Mexicanas. Этот консорциум был дисквалифицирован по причине нарушений, допущенных в технической части ТКП.

Участие в конкурсе консорциумы подтверждали банковскими гарантиями в виде залоговых сумм, которые возвращались по окончании торгов.

Весной 2003 г. состоялось присуждение победы консорциуму, который впоследствии получил название «Constructora Internacional de Infraestructura» (CIIISA), где лидером была строительная фирма «ICA», а поставщиком оборудования — компания «СМ». Этот консорциум представил на конкурс ТКП с самой низкой себестоимостью электроэнергетики ГЭС — 0,74 песо/кВт · ч. Основными конку-



Рис. 7. ГЭС Эль Кахон: кратер гидроагрегата с установленным рабочим колесом

рентами СМ на конкурсе были мировые гиганты энергетического машиностроения “General Electric” и “Siemens”, которые предлагали свои услуги другим консорциумам.

В контрактные обязательства СМ входили проектирование, изготовление, поставка гидросилового, электротехнического, гидромеханического и подъёмно-транспортного оборудования, монтаж, пусконаладочные работы, проведение всех видов испытаний, ввод ГЭС в коммерческую эксплуатацию и гарантийное обслуживание в течение двух лет. Поскольку параметры основного гидросилового оборудования ГЭС Эль Кахон были сходны с параметрами ГЭС Агуамильпа, это позволило привлечь тех же поставщиков: для гидротурбин — ОАО “Турбоатом” (Украина, г. Харьков), для гидрогенераторов — СМ/филиал “Электросила” (РФ, г. Санкт-Петербург). Такое решение было оправдано с экономической и технической точек зрения, давало возможность “отшлифовать” проекты, изучить опыт ведения монтажных работ и эксплуатации оборудования на предыдущих гидроэлектростанциях, чтобы улучшить качество исполнения проекта для ГЭС Эль Кахон.

Для поставки вспомогательного электромеханического оборудования и технологических систем для ГЭС Эль Кахон ОАО “СМ” привлекало различные заводы и компании в качестве субподрядных организаций:

затворы, подъёмные краны и гидроприводы с маслonaпорной установкой (МНУ) — украинские заводы: новокаховский завод “Укргидромех”, Зуевский энергомеханический завод, Новокраматорский машиностроительный завод (Украина);

регуляторы частоты вращения и системы управления кольцевым затвором — “Voith Siemens” (Австрия);



Рис. 8. ГЭС Эль Кахон: монтаж крышки гидротурбины с кольцевым затвором

система возбуждения гидрогенератора — ОАО “СМ” — филиал “Электросила” (РФ);

комплектное распределительное устройство элегазового типа (КРУЭ) — “VATECH” (Великобритания);

бразильские поставщики:

главные повышающие трансформаторы — “ABB”;

автоматизированная система управления технологическим процессом (АСУ ТП) — “Siemens”;

токопроводы генераторного напряжения — “Alstom”;

токопроводы системы собственных нужд — “Power Bus”;

малый гидроагрегат мощностью 3 МВт для собственных нужд станции — “WEG”/“Altona”.

По контракту с СМ генеральным проектировщиком электромеханической части проекта и главным комплектовщиком вспомогательного оборудования и технологических систем ГЭС была бразильская фирма “Energ Power”. Этим обстоятельством объясняется наличие большого количества оборудования бразильских производителей, известных “Energ Power” по совместным проектам на территории Бразилии. Проекты гидромеханического и подъёмно-транспортного оборудования разрабатывались СПКТБ “Запорожгидросталь” (Украина, г. Запорожье).

Для СМ проект ГЭС Эль Кахон являлся комплексным “под ключ”. Главная сложность заключалась в контроле и технической координации десятков договоров с различными поставщиками оборудования и услуг, а также во взаимодействии с проектировщиками строительной части. Эти задачи были выполнены совместными усилиями специалистов головного офиса СМ в г. Санкт-Петербурге, конструкторскими подразделениями заводов, пред-

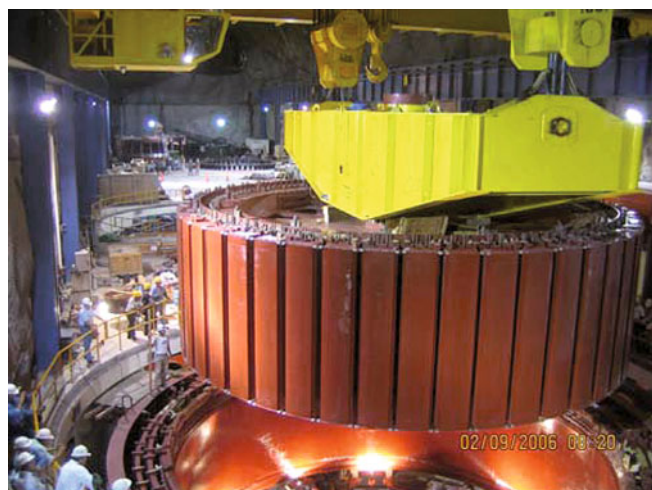


Рис. 9. ГЭС Эль Кахон: монтаж ротора гидрогенератора



Рис. 10. Строительство водосброса ГЭС Эль Кахон

ставительства СМ в г. Мехико и группы СМ на ГЭС.

Подробный календарный план ведения строительно-монтажных работ был разработан консорциумом “СИСА” на основе следующих событий, регламентированных тендером:

перевод стока реки на отводные строительные туннели — 30.11.2003 г.;

завершение строительства верхней перемычки — 01.07.2004 г.;

завершение монтажа и испытаний затворов на водоприёмнике ГЭС и на водосливной плотине перед предстоящим перекрытием отводных строительных туннелей — 30.06.2006 г.;

перекрытие отводных строительных туннелей и начало заполнения водохранилища — 01.07.2006 г.

Календарные сроки строительства определяли работы по сооружению двух туннелей отвода реки с поперечными габаритами 14 × 14 м и длиной 900 м каждый, возведению временных перемычек и отсыпке плотины с объёмом насыпи около 11 млн. м³ (рис. 3).

В базовый проект заказчика, выставленный на конкурс, были заложены такие технические решения, которые позволяли достичь высокой интенсивности ведения строительных работ, максимально сократить сроки ввода гидроагрегатов в эксплуатацию и быстрее получить доход от продажи электроэнергии ГЭС. Эти задачи были выполнены подрядчиком посредством применения современных строительных технологий, машин, механизмов и материалов. В частности, для сооружения туннелей отвода реки использовались производительные горнопроходческие комплексы, которые работали в забоях со стороны входного и выходного порталов. Для ускорения работ за счёт открытия новых забоев был пройден дополнительный подходной туннель. В теле плотины использовался как грунт из карьера местных строительных материалов, так и

скальная выработка из котлованов других сооружений (рис. 4, 5). При отсыпке материала применялись большегрузные автосамосвалы и конвейеры; разравнивание грунта производилось бульдозерами, а уплотнение — виброкатками.

Работы по сооружению подземного машинного зала и уравнительного резервуара, по проходке многочисленных туннелей и вертикальных шахт различного назначения велись на правом берегу реки независимо от насыпи плотины в русловой части створа. Проезд с левого берега, где располагались подъездные дороги, на правый предусматривался по гребням перемычек. Чтобы попасть на правый берег и приступить к работам по подземным сооружениям до возведения перемычек, был смонтирован временный мост из сборных металлоконструкций.

Для ведения монтажных работ была контрактována специализированная компания “Duero Ingeniería” (Мексика), которая располагала грузоподъёмными механизмами, мастерскими, автопарком, открытыми и закрытыми складами, монтажными приспособлениями и другим оборудованием для эффективного ведения монтажных работ. Совместно с профсоюзом фирма “Duero Ingeniería” подбирала квалифицированных рабочих и инженерно-технических работников, обеспечивала безопасные условия труда, а также комфортные условия для повседневной жизни и отдыха. “Duero Ingeniería” работала под техническим руководством группы специалистов авторского надзора и шефмонтажа заводов-поставщиков. По инициативе СМ мексиканский коллектив монтажников был усилен российскими специалистами ОАО “Спецгидроэнергомонтаж” (СГЭМ).

В начале 2005 г. строительный подрядчик передал СМ фронт работ для монтажа двух мостовых кранов машинного зала грузоподъёмностью 400 т каждый. К этому времени были завершены строи-

тельные работы по созданию подземной выработки здания ГЭС и креплению её свода и стен. Крановое оборудование, а также гидротурбинное и гидрогенераторное оборудование было изготовлено и доставлено на склады стройплощадки. Монтажные работы по гидротурбине начались 08.02.2005 г. установкой облицовок колена отсасывающей трубы. К этому времени монтажные краны ещё не были собраны, поэтому использовался временный строительный мостовой кран грузоподъёмностью 10 т и кран на пневмоходу. 08.06.2005 г. опустили в проектное положение статор гидротурбины (рис. 6) штатным мостовым краном. После окончания монтажа производилось гидравлическое испытание спиральной камеры и укладывался бетон. При бетонировании спиральная камера была заполнена водой и находилась под номинальным давлением, в соответствии с требованием тендерной документации. Одновременно велись работы по сборке ротора гидрогенератора на стенде, расположенном на монтажной площадке. 19.04.2006 г. в кратер гидротурбины опустили рабочее колесо (рис. 7), 12.06.2006 г. установили крышку гидротурбины (рис. 8).

Параллельно в шахте гидроагрегата вели работы по монтажу статора гидрогенератора. 01.09.2006 г. в кратер опустили ротор гидрогенератора диаметром 10,8 м, весом 715 т (рис. 9). 20.10.2006 г. проводили проверку линии вала, и за-



Рис. 11. Машинный зал подземного здания ГЭС Эль Кахон

тем окончательную сборку гидроагрегата. После этого производились пусконаладочные испытания: работа агрегата на холостом ходу, высоковольтные испытания обмотки статора и т.д. 15.02.2007 г. выполнили синхронизацию гидроагрегата с сетью.

В то же время производились работы по сборке и наладке вспомогательных технологических систем здания ГЭС:

- водяного охлаждения;
- пожаротушения (газовое и водяное);
- дренажа здания ГЭС и осушения проточной части гидротурбины;

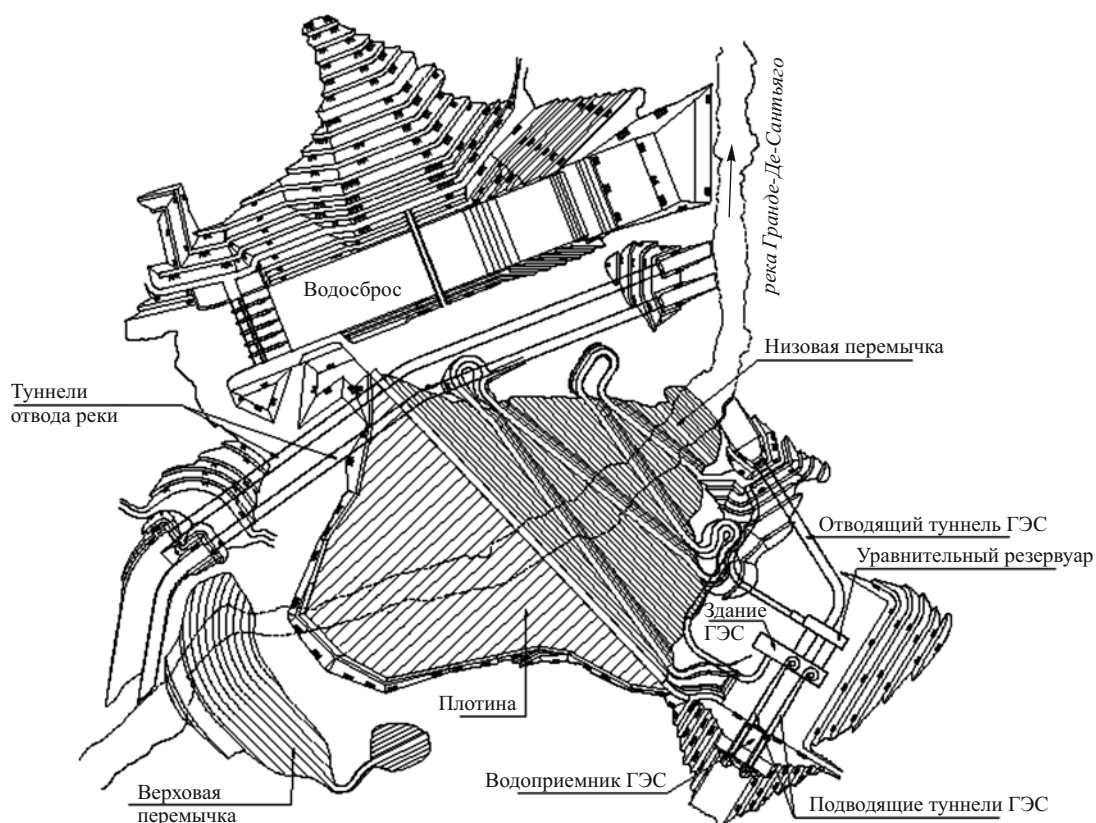


Рис. 12. План гидроузла Ла Йеска



Рис. 13. ГЭС Ла Йеска: транспортировка рабочего колеса гидротурбины

вентиляции и кондиционирования воздуха;
 технического водоснабжения;
 сжатого воздуха;
 связи;
 освещения;
 заземления;
 постоянного и переменного тока и др.

Отсасывающие трубы гидротурбин выводились в подземный уравнивательный резервуар. Там велись работы по установке ремонтных затворов для перекрытия отсасывающих труб и по монтажу мостового крана для обслуживания затворов. Эти работы начались 23.04.2006 г. и завершились 09.11.2006 г.

Одновременно велись работы и на других сооружениях гидроузла. Над зданием ГЭС построена электрическая подстанция, на которой выполнялись работы по установке шести однофазных повышающих трансформаторов 17/400 кВ, монтажу распределительного устройства элегазового типа напряжением 400 кВ, а также другого электротехнического оборудования: разъединителей, выключателей, ограничителей перенапряжения и т.д. Эти работы начались в мае 2006 г. и завершились в феврале 2007 г. Токопроводы генераторного напряжения 17 кВ, передающие электроэнергию от гидрогенераторов к трансформаторам, располагались в двух вертикальных шахтах диаметром 6 м и глубиной 120 м и монтировались параллельно с другим оборудованием подстанции.

На водоприёмнике ГЭС предусматривалась установка двух аварийно-ремонтных затворов со штангами, индивидуальными гидроприводами и МНУ, ремонтного затвора и козловой крана для его обслуживания. Монтажные работы начались 27.04.2006 г. и продолжались до декабря 2006 г.

В пролётах водосливной плотины установлено шесть сегментных затворов с индивидуальными гидроприводами и МНУ, ремонтные затворы и козловой кран для их обслуживания. Монтажные работы начались 14.10.2005 г. (рис. 10) и завершились



Рис. 14. ГЭС Ла Йеска: транспортировка сектора статора гидрогенератора

09.11.2006 г. пробными подъёмами затворов и холостыми сбросами воды в нижний бьеф гидроузла.

Первый агрегат был принят в коммерческую эксплуатацию 27.02.2007 г. Таким образом, работы по монтажу первого гидроагрегата заняли около 25 месяцев. Одновременно велись монтажные работы по второму агрегату, которые продолжались 27 месяцев и завершились пуском в эксплуатацию 30.05.2007 г. (рис. 11).

Факт приёмки гидроагрегатов в эксплуатацию был подтверждён Актом временной приёмки после 200-часовой работы под нагрузкой. С этого момента ответственность за эксплуатацию гидроэлектростанции переходила от подрядчика к заказчику при технической поддержке подрядчика. Для обучения эксплуатационного персонала заказчика силами специалистов СМ и заводов-поставщиков были организованы специальные курсы по управлению оборудованием.

Осенью 2007 г. проводились натурные испытания для подтверждения реального КПД гидроагрегата заявленному в ТКП значению. Для испытания гидротурбины привлекалась фирма «ХарьковТурбоИнжиниринг» (Украина, г. Харьков) при участии ОАО «НПО ЦКТИ» (РФ, г. Санкт-Петербург). Для этих работ использовались 57 гидрометрических вертушек, которые устанавливались на опорную раму внутри подводящего туннеля вблизи входа в спиральную камеру. Показания с каждой вертушки использовались для определения скорости водного потока, затем вычислялись расход воды через гидротурбину и КПД. До и после испытаний вертушки проходили тарировку в глубоководном опытном бассейне ЦНИИ им. Крылова (РФ, г. Санкт-Петербург). Работы на ГЭС проводились в присутствии представителей заказчика, СМ и завода-изготовителя гидротурбин. Испытания гидрогенератора выполнялись специалистами завода «Электросила». В ходе испытаний подтвердились значения КПД, заявленные и гарантированные в ТКП СМ.



Рис. 15. ГЭС Ла Йеска: входные порталы сооружений отвода реки

Следует отметить, что по окончании строительства были демонтированы объекты промышленной базы, склады и временные коммуникации различных типов, жилой посёлок, административно-хозяйственные строения, временные подъездные автодороги и мосты. В соответствии с требованиями тендера проведены полная рекультивация и озеленение территории строительной площадки ГЭС. Также были реконструированы и обновлены автодороги, мосты и другие объекты инфраструктуры, которые предназначались для постоянной эксплуатации ГЭС.

В 2006 г. был объявлен конкурс на строительство следующей ступени каскада на р. Гранде-де-Сантьяго — ГЭС Ла Йеска. Учитывая опыт успешного сотрудничества строительной компании «ІСА» с СМ на ГЭС Эль Кахон, было принято решение об образовании нового консорциума «Constructora de Proyectos Hidroeléctricos» (СРН) для участия в конкурсе по ГЭС Ла Йеска. В торгах участвовали следующие консорциумы:

СРН (ІСА – La Peninsular – СМ) – 908 млн. долл. США;

Gusta – Synohidro – 1249 млн. долл. США;

Techint – Impregilo – Vatech. Этот консорциум был дисквалифицирован по причине нарушений, допущенных в технической части ТКП.

По итогам рассмотрения ТКП организатор конкурса принял решение о дисквалификации первых двух участников торгов по причине превышения ими бюджетной стоимости проекта – 836 млн. долл. США. В повторных торгах 2007 г. принимали участие следующие консорциумы:

СРН (ІСА – La Peninsular – СМ) – 768 млн. долл. США (0,80 песо/кВт · ч);

Techint – Impregilo – Vatech – 856 млн. долл. США (0,88 песо/кВт · ч);

CARSO – Voith Siemens – 811 млн. долл. США (0,84 песо/кВт · ч).



Рис. 16. ГЭС Ла Йеска: вертикальные шахты опорного зуба

Принимая решение о присуждении контракта, заказчик понимал, что наличие освободившейся на ГЭС Эль Кахон строительной техники и квалифицированных трудовых ресурсов компании «ІСА» даст мощный импульс для начала строительства ГЭС Ла Йеска, расположенной вблизи предыдущей площадки. Участие в консорциуме СМ позволило применить однотипное гидросиловое оборудование тех же самых поставщиков, которые оснащали гидротурбинами и гидрогенераторами нижерасположенные станции каскада. Учитывая эти обстоятельства и ценовую привлекательность ТКП, заказчик присудил победу в конкурсе консорциуму «СРН». В ходе внутренних переговоров и по обоюдному согласию сторон была принята субконтрактная форма участия СМ в консорциуме «СРН». Строительство ГЭС Ла Йеска началось в октябре 2007 г.

В контрактные обязательства СМ, как и ранее на ГЭС Эль Кахон, входило проектирование, изготовление, поставка всего объёма технологического оборудования, монтаж и пусконаладка, проведение гарантийных испытаний и ввод агрегатов ГЭС в коммерческую эксплуатацию 2 января и 2 апреля 2012 г. с гарантийным двухлетним обслуживанием. Очевидно, что поставщиками гидросилового оборудования стали ОАО «Турбоатом» и СМ/Электросила.

Необходимо отметить, что комплектация ГЭС Эль Кахон вспомогательным оборудованием иностранного производства вызвала затруднения у заказчика, поскольку он столкнулся со сложностью обслуживания или замены этого оборудования. По этой причине в тендере были выдвинуты требования по локализации оборудования на местном рынке. СМ для поставки вспомогательного оборудования для ГЭС Ла Йеска привлекали различные компании с учётом новых требований заказчика, а также опыта исполнения контракта по ГЭС Эль Кахон. В частности:



Рис. 17. Плотина ГЭС Ла Йеска: бетонирование экрана



Рис. 18. Плотина и каналы водосброса ГЭС Ла Йеска

затворы и подъёмные краны – новокаховский завод “Укргидромех”, Зуевский энергомеханический завод (Украина);

токопроводы генераторного напряжения и собственных нужд – “Daqo” (Китай);

мексиканские поставщики:

регуляторы частоты вращения, системы управления кольцевым затвором, система возбуждения гидрогенератора, малый гидроагрегат для собственных нужд – “Andritz”;

гидроприводы и МНУ – “Rexrot”;

главные повышающие трансформаторы, АСУ ТП, КРУЭ и другое электротехническое оборудование – “Siemens”.

Генпроектировщиком электромеханической части проекта СМ была выбрана фирма “Hydroproject de México” (Мексика) с временным привлечением специалистов ОАО “Укргидропроект”. Специалистами этой компании и головного офиса СМ осуществлялась координация работы многочисленных субподрядных организаций, отслеживались календарные графики выполнения работ, увязывались проекты оборудования с проектами строительной части и т.д. Все монтажные работы осуществлялись компанией “Duero Ingeniería”, усиленной специалистами СГЭМ. Монтаж осуществлялся под руководством специалистов шефмонтажа поставщиков и группой СМ на площадке строительства.

Учитывая позитивный опыт работы на строительстве ГЭС Эль Кахон, участники консорциума “СРН” с большим энтузиазмом относились к новому контракту, считая его копией предыдущего. И действительно, в компоновке и конструкции основных сооружений двух гидроузлов было много общего. ГЭС Ла Йеска имела аналогичную каменнонабросную плотину высотой 200 м с противоточной железобетонной экраном, береговой лотковый водосброс с максимальной пропускной способностью 15 100 м³/с, два строи-

тельных отводных туннеля с габаритами поперечного сечения 14 × 14 м (рис. 12).

Вода от водоприёмника к агрегатам подземного здания ГЭС подавалась двумя туннелями диаметром в свету 7,7 м с максимальным расходом 250 м³/с через каждый туннель. На открытой площадке располагалась подстанция с повышающими трансформаторами и КРУЭ. Однако природные условия створа ГЭС Ла Йеска оказались значительно сложнее. Крутые борта каньона создали проблемы для организации площадок промышленной базы строительства и жилого посёлка, а также существенно затруднили строительство временных автомобильных дорог. На некоторых участках продольный уклон автодорог превышал 20 %, а грунтовое покрытие постоянно разрушалось и деформировалось большегрузными автосамосвалами. Для перевозки негабаритных грузов в сложных условиях горной местности СМ была контрактована мексиканская логистическая компания “Transportes Tellería”, располагающая необходимым опытом, специализированной техникой и квалифицированным персоналом (рис. 13, 14). В частности, для преодоления самых опасных участков автодороги при доставке трансформаторов весом более 100 т каждый применялся автопоезд, состоящий из тягача, траля и двух тяжёлых бульдозеров, которые шли с опущенными отвалами, врезаясь ножом в покрытие автодороги для торможения автопоезда и поддержания скорости движения не более 4 км/ч.

Несмотря на высокие темпы ведения строительных работ, к концу 2009 г. появилось отставание готовности сооружений гидроузла. Это объяснялось значительным объёмом дополнительных строительных работ, необходимость которых возникла в результате того, что реальная крайне сложная инженерно-геологическая обстановка отличалась от представленной в тендере. Понадобился срочный пересмотр базовых проектных решений.

В частности, на левобережном склоне был обнаружен геологический разлом, который угрожал



Рис. 19. Водоприёмник ГЭС Ла Йеска

устойчивости скального откоса высотой около 150 м над входными порталами туннелей отвода воды. Для укрепления породы была возведена массивная подпорная конструкция высотой 40 м, на строительство которой было израсходовано 400 тыс. м³ бетона. С целью размещения входных порталов на удалении от опасного склона к туннелям были пристроены железобетонные галереи длиной 70 м каждая (рис. 15).

Для обеспечения устойчивости левобережного берегового склона от оползания был построен опорный зуб в виде ряда вертикальных шахт глубиной около 60 м и диаметром 7 м, заполненных бетоном (рис. 16).

При строительстве водосброса возникла необходимость дополнительного крепления откосов котлована, что повлияло на узел примыкания водосброса к грунтовой плотине. Это потребовало некоторого смещения оси плотины и увеличения профильного объёма насыпи (рис. 17). Изменилась и лотковая конструкция водосброса, которая была разделена на три независимых канала, разведённых на разные уровни (рис. 18).

Значительные проблемы возникли и при строительстве водоприёмника ГЭС (рис. 19). Отсутствие в этой зоне сохранной скалы вызвало необходимость устройства фундамента в виде железобетонных свай для опоры на них порога водоприёмника.

Технические затруднения появились при строительстве подземных сооружений. В частности, в пределах монтажной площадки была выявлена зона тектонического разрушения, что потребовало переноса площадки в противоположную сторону здания ГЭС с соответствующим удлинением транспортного туннеля. В результате разуплотнения горного массива обнаружилось подвижки вертикальных стен уравнильного резервуара, что привело к необходимости дополнительного крепления стен распорными железобетонными балками (рис. 20).



Рис. 20. ГЭС Ла Йеска: уравнильный резервуар с распорными балками

Несмотря на принятые меры безопасности, заказчик опасался оползневой схода в процессе наполнения водохранилища и обводнения левобережного склона. Для контроля набора воды был построен донный водовыпуск, устроенный внутри строительного туннеля и оборудованный двумя конусными затворами. Это сооружение явилось дополнительным, так как не было предусмотрено в тендерной документации.

Приведённые выше изменения в основном затронули строительную часть и в меньшей степени электромеханическую часть проекта. Тем не менее остро встал вопрос о невозможности пуска агрегатов в контрактные сроки: 2 января и 2 апреля 2012 г., а также о недостаточности выделенных на строительство кредитных ресурсов. Поскольку по условиям контракта инженерно-геологические риски относились к ответственности заказчика, ICA обратилась к CFE с вопросом о дополнительном финансировании строительства. Заказчик располагал средствами только в объёме бюджетной стоимости проекта, поэтому вопрос о превышении лимитов и выделении дополнительного финансирования решался в Национальном Конгрессе Мексики. В это время интенсивность строительства существенно сократилась, работы велись главным образом по плотине. В результате было принято решение о продолжении строительства с обновлённой программой. Заказчик обратился к ICA и CM с просьбой о вводе агрегатов в конце 2012 г. Подрядчик ответил согласием при условии не применять штраф-



Рис. 21. Общий вид ГЭС Ла Йеска

ные санкции, если пуски по каким-то причинам не состоятся в намеченные сроки.

Ввод агрегатов ГЭС Ла Йеска в промышленную эксплуатацию был осуществлён 29 октября и 30 ноября 2012 г, т.е. через 10 и 8 месяцев по истечении изначально планируемых сроков (рис. 21). Общий срок строительства вместо 4 лет 7 месяцев, предусмотренных тендером, составил 5 лет 2 месяца. Возведение сооружений ГЭС было завершено с существенным перерасходом бюджета по строительной части (около 30 %).

В ноябре – декабре 2013 г. проводились натурные испытания гидротурбины и гидрогенератора для подтверждения заявленных в ТКП значений КПД. По условиям конкурса испытания гидротурбины должны были проводиться термодинамическим способом. Для проведения испытаний была приглашена норвежская компания “Sweco”, располагающая необходимой измерительной аппаратурой и специализирующаяся на подобных испытаниях гидротурбин. Для проведения испытаний внутри подводящего туннеля и в двух каналах отсасывающей трубы были установлены опорные рамы, на которых располагались перфорированные трубки для забора воды из различных точек сечения. Вода поступала в мерный сосуд, в котором смешивалась и замерялась температура. Кроме этого замерялось давление воды до и после турбины, рассчитывались энергия потока воды и КПД гидротурбины. Испытания гидрогенератора выполнялись силами LAPEM под контролем представителей завода-изготовителя. В ходе проведённых испытаний подтвердились гарантированные значения КПД гидроагрегата.

Окончание строительства ГЭС Ла Йеска явилось знаменательным событием как для заказчика, так и для подрядчика. Всем вовлечённым в проект участникам удалось решить сложные технические проблемы, возникшие при строительстве. В 2013 г. авторитетный мексиканский строительный журнал

“Obras” присвоил ГЭС Ла Йеска звание “Стройка года” как крупнейшему проекту гидроэнергетического строительства наивысшей социальной значимости, а компания “Силовые машины” получила от заказчика сертификат “Надёжный поставщик”. За время эксплуатации трёх ГЭС каскада на р. Гранде-де-Сантьяго заказчик многократно подтверждал высокое качество строительно-монтажных работ и надёжность технологического оборудования.

Выводы

Успех строительства трёх ГЭС каскада обеспечивался заказчиком и подрядчиком.

Участие заказчика:

- разработка подробной тендерной документации, подготовка и проведение торгов;
- рассмотрение ТКП конкурсантов и присуждение контракта победителю;

- жёсткий контроль качества и сроков выполнения строительных работ, изготовления, поставки и монтажа оборудования с возможностью применения к подрядчику штрафных санкций за нарушение тендерных требований;

- подготовка эксплуатационного персонала.

Участие подрядчика:

- детальное изучение тендерной документации и подготовка конкурентного ТКП;

- привлечение банковских кредитов для финансирования строительства;

- разработка проектов и поставка комплекта надёжного и эффективного технологического оборудования;

- привлечение квалифицированных рабочих и ИТР;

- организация строительно-монтажных работ с использованием современных строительных технологий, машин и механизмов, обеспечивших высокую интенсивность;

- выполнение контрактных сроков на всех этапах: проектирования, изготовления и поставки оборудования, ведения строительно-монтажных работ и ввода в эксплуатацию;

- эффективное управление административными и техническими вопросами по координации работ субподрядных организаций и поставщиков оборудования.

Список литературы

1. Михайлов М. Г. Консорциум СЭФТС: некоторые особенности монтажа агрегатов и возможности упрощения эксплуатации генераторов ГЭС Агуамильпа // Гидротехническое строительство. 1995. № 11. С. 39 – 42.
2. Михайлов М. Г. Контрольная сборка сварной спиральной камеры гидротурбины ГЭС Агуамильпа // Гидротехническое строительство. 1995. № 8. С. 51 – 53.