

Опыт проектирования и строительства гидроэлектростанций Лос-Караколес и Пунта-Негра в Аргентине

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

На опыте проектирования двух ГЭС каскада приводятся примеры оптимизации компоновок и конструкций гидросооружений из-за недостаточной проработки проекта, выставленного на торги. Приводятся примеры решения сложных технических проблем в процессе строительства, концессионная схема финансирования, возможности местных рынков для изготовления и поставки части оборудования в максимальной степени готовности.

Ключевые слова: каскад ГЭС, заказчик, подрядчик, консорциум, базовый проект, концессия, компоновка основных сооружений, плотина с экраном, перемычка, отводные туннели, поверхностный водосброс, донный водосброс, моделирование водосброса, водоприемник, здание ГЭС, гидроагрегат, гидрогенератор, гидротурбина.

Design experience of two HYDROELECTRIC POWER STATIONS of the cascade demonstrates the optimization of hydraulic construction design and configuration due to inadequate study of the project put up for tender. Examples of complicated technical decision implementation in the process of construction are given, concession scheme of financing, local market facilities provided for manufacturing and supply of the equipment items in maximum product availability are illustrated.

Key words: cascade of hydroelectric power stations, the customer, the contractor, a consortium, the base project, concession, configuration of the basic constructions, a dam with the screen, the crosspiece, drain tunnels, overflow spillway, bottom spillway, modeling of a spillway, water intake, powerhouse, hydraulic unit, hydrogenerator, hydroturbine.

В марте 1998 г. на р. Сан-Хуан в Аргентине началось строительство двух крупных гидроэлектростанций (ГЭС) — Лос-Караколес ($2 \times 62,5$ МВт, 715 млн. кВт·ч, напор 150 м) и Пунта-Негра ($2 \times 31,6$ МВт, 296 млн. кВт·ч, напор 80 м), дополняющих собой каскад из двух существующих гидростанций — Уюм I-II (233 млн. кВт·ч) и Кебрада-де-Уюм (165 млн.кВт·ч), расположенных ниже по течению.

Ввод новых гидроэлектростанций был необходим для энергоснабжения промышленных предприятий провинции Сан-Хуан и развития ирригационной системы, имеющей большое сельскохозяйственное значение. В частности, строительство двух водохранилищ ГЭС суммарным объёмом около $1,05 \text{ км}^3$ позволит расширить площадь культивируемых земель на 12,5 тыс. га и обеспечит запас воды для орошения 110 тыс. га земли, используемой в настоящее время.

Заказчиком гидроэлектростанций была провинция Сан-Хуан, на территории которой разворачивалось строительство, а исполнителем — компания “AES Caracoles” (аргентинский филиал известной инвестиционной компании “AES Americas” из США). Эта компания стала концессионером на конкурсной основе, одержав победу в конкурентной борьбе с двумя аргентинскими компаниями “IMPISA” и “Cartellone”. Концессионер “AES

Caracoles” получил от государства эксклюзивные права на строительство и эксплуатацию новых ГЭС в течение ряда лет с последующей передачей станций в государственную собственность. Концессионная схема финансирования получила широкое распространение в некоторых странах Латинской Америки, где существует дефицит государственных средств для реализации дорогостоящих инфраструктурных проектов. Эта схема позволяет под государственные гарантии по тарифу на покупку электроэнергии вести строительство целиком или частично на средства концессионера. По окончании строительства концессионер покрывает свои затраты за счёт прибыли от продажи электроэнергии, выработанной на ГЭС, по установленному в концессионном договоре тарифу.

В качестве подрядчика для производства работ был привлечён консорциум “UTE”, куда входила строительная компания “Constructora ICA Argentina” (филиал мексиканской фирмы “ICA”) и две аргентинские строительные компании “Panedile Argentina” и “Comercial del Plata Construcciones”. Контрактная стоимость строительства “под ключ” составляла для ГЭС Лос-Караколес 186,3 млн. долл. США, для ГЭС Пунта-Негра — 118,9 млн. долл. США (в ценах 1998 г.). Доля стоимости технологического оборудования составила около 20 % общей стоимости строительства — 37,1 и 25,7 млн. долл. США соответственно. Планируемые сроки

* mikhalovm@mail.ru

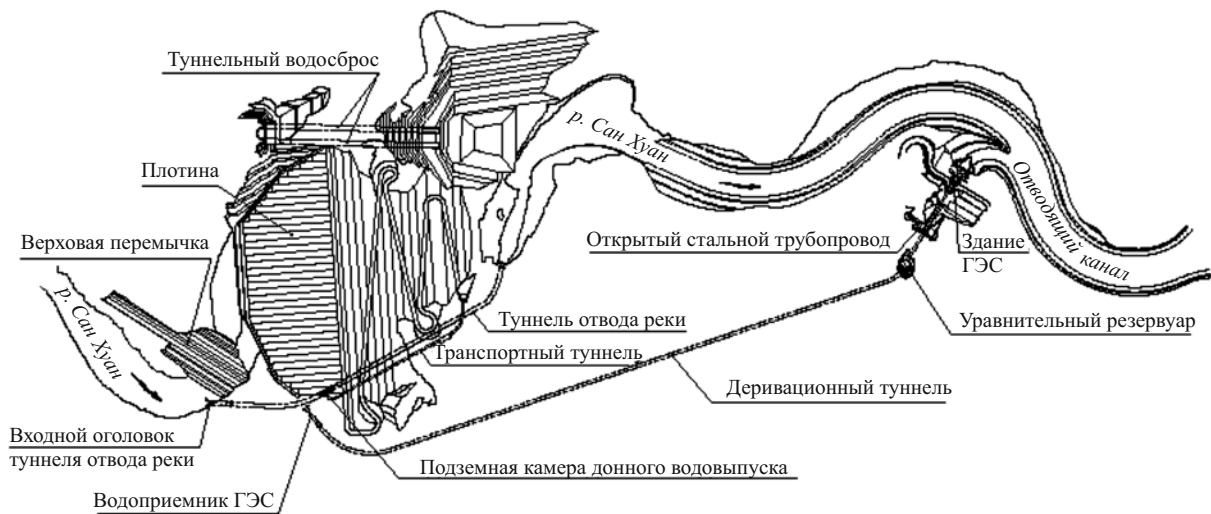


Рис. 1. План гидроузла Лос-Караколес.

строительства составляли 4,5 года для ГЭС Лос-Караколес и 4 года 2 месяца для ГЭС Пунта-Негра.

Базовый проект в объёме 25 томов, выставленный заказчиком на торги, был разработан испанской проектной фирмой “Initec” и требовал детального изучения подрядчиком. В ходе дополнительного инженерно-геологического исследования створа сооружений и карьеров местных строительных материалов, а также гидрологической изученности реки были выявлены существенные недоработки базового проекта, которые требовали пересмотра многих технических решений.

Подпорным сооружением ГЭС Лос-Караколес являлась каменнонабросная плотина высотой 136 м, объёмом насыпи около 10 млн. м³, с центральным противофильтрационным ядром из связных материалов и интегрированных в тело плотины строительных перемычек. Однако инженерно-геологическая разведка показала отсутствие вблизи строительной площадки месторождений материала, пригодного для укладки в ядро плотины.



Рис. 2. ГЭС Лос-Караколес: строительство плотины с железобетонным экраном

Рассмотрев различные варианты, проектировщики предложили применить каменнонабросную плотину с железобетонным противофильтрационным экраном (рис. 1, 2), используя позитивный опыт строительства аналогичной плотины ГЭС Агуамильпа в Мексике, построенной фирмой “ISA” в 1994 г. У такого типа плотины сопряжение экрана с основанием производится с помощью железобетонной плиты, опирающейся на скалу, как в русловой части створа, так и на береговых примыканиях. Если на ГЭС Агуамильпа толщина аллювиального грунта в русле реки не превышала 5 – 7 м и могла быть снята до коренных пород основания, то на ГЭС Лос-Караколес эта толщина превышала 40 м, что исключало возможность создания сухого котлована для возведения в нём бетонной плиты. Изучив международный опыт, проектировщики фирмы “ISA” предложили в русловой части створа установить бетонную плиту на уплотнённый насыпной грунт и замкнуть подземный контур “стеной в грунте” до контакта с коренными скальными породами, что и было реализовано.

Верховая перемычка плотины была вынесена в верхний бьеф и располагалась в непосредственной близости от входного портала туннеля отвода реки. Этот туннель длиной 670 м и сечением 8,1 × 7,95 м размещался внутри правобережного скального массива, спрямляя излучину реки. Его расчётная пропускная способность составляла 664 м³/с. Характерной особенностью туннеля являлось то, что в период эксплуатации гидроузла он должен был использоваться как донный водовыпуск для осуществления санитарных попусков, питания нижерасположенных объектов ирригационной системы и станций каскада, когда гидроагрегаты ГЭС Лос-Караколес не работают. Для этого в туннеле устраивалась подземная камера, оборудованная двумя ос-



Рис. 3. ГЭС Лос-Караколес: входной оголовок туннеля отвода реки

новными и двумя ремонтными плоскими затворами с индивидуальными гидроприводами, МНУ и краном для обслуживания. Вход в затворную камеру предусматривался по транспортному туннелю. Поскольку прогнозировалось интенсивное заиление водохранилища, то планировалась модификация входного оголовка туннеля. Перед наполнением водохранилища он перекрывался затворами и бетонной пробкой, а забор воды осуществлялся через входное отверстие наверху вертикальной бетонной башни, которое защищалось полусферической сороудерживающей решёткой (рис. 3).

В соответствии с базовым проектом поверхностный лотковый водосброс располагался на левобережном скальном склоне и был рассчитан на пропуск расхода воды $4800 \text{ м}^3/\text{с}$. Сложность строительства этого сооружения была связана с необходимостью разработки котлована с большим объёмом выемки скального грунта и высоким откосом, устойчивость которого обеспечивалась созданием многочисленных берм, дорогостоящим креплением и развитой системой дренажа. В ходе ревизии и актуализации гидрологических данных проектировщики «ІСА» смогли обосновать понижение максимального сбросного расхода до $3200 \text{ м}^3/\text{с}$. Это дало возможность применить две нитки безнапорных туннельных водосбросов, строительство которых оказалось более экономичным, чем открытого лоткового водосброса. Пролёты водосброса перекрывались сегментными затворами габаритами $9,5 \times 17,8 \text{ м}$ с индивидуальными гидроприводами, МНУ и краном для обслуживания затворов (рис. 4). Туннели имели длину 350 м каждый, диаметром в свету $9,5 \text{ м}$ и завершались носком-трамплином для отброса водного потока в зону гашения энергии.

Гидроэнергетические сооружения ГЭС Лос-Караколес располагались на правом берегу реки и включали шахтный водоприёмник, оборудованный



Рис. 4. Водозаборные отверстия туннельного водосброса ГЭС Лос-Караколес

плоскими стационарными сороудерживающими решётками, плоскими ремонтными и аварийно-ремонтными затворами с механизмами подъёма и опускания, протяжённый деривационный туннель длиной 1426 м и диаметром $5,5 \text{ м}$, уравнильный резервуар и открытый стальной трубопровод с развилкой на два гидроагрегата. Здание ГЭС с двумя гидроагрегатами мощностью $62,5 \text{ МВт}$ каждый и площадка электрической подстанции располагались у подножия крутого скального склона, у самого уреза русла реки, что было связано с необходимостью возведения строительных перемычек в очень стеснённых условиях. Чтобы сократить объём выемки скального грунта под котлован здания ГЭС и напорного трубопровода, а также существенно облегчить условия для планировки площадки электрической подстанции и возведения строительных перемычек, здание ГЭС (рис. 5) было перемещено на просторную правобережную пойму излучины реки. Для понижения уровня воды нижнего бьефа, за счёт чего удалось получить дополнительный напор на ГЭС около 10 м , был предусмотрен отводящий канал длиной 1725 м с меньшим уклоном дна, чем уклон естественного русла реки.

Таким образом, существенные изменения компоновки и конструкции коснулись практически всех гидротехнических сооружений гидроузла.

Для выполнения контрактных сроков строительства проектирование осуществлялось совместными усилиями специализированных компаний «Hydroconsultoria» (Мексика) и «Electrowatt Engineering» (Швейцария), которые использовали современные расчётные комплексы, методы математического и физического моделирования сооружений и процессов. Для гидравлических исследований привлекались специалисты лаборатории национального университета г. Сан-Хуан. В частности, в этой лаборатории были смоделированы туннельный водосбросной донный водовыпуск, здание ГЭС с от-



Рис. 5. Здание ГЭС Лос-Караколес



Рис. 6. Исследование размыва грунта основания при работе туннельного водосброса ГЭС Лос-Караколес

водящим каналом, а также протяжённый участок реки в масштабе 1:68. На модели изучались особенности гидравлических режимов водосбросных сооружений, а также явления размыва основания и переформирования русла реки (рис. 6), транспорта наносов с определением зон их отложений. Прогнозировалось влияние этих процессов на сохранность и надежность гидротехнических сооружений гидроузла.

Одновременно с ГЭС Лос-Караколес разворачивались строительные работы по нижерасположенной ГЭС Пунта-Негра. Створ плотины планировался в зоне существующего водохранилища, сформированного небольшой водосливной плотиной с шестью водосбросными пролётами. Эта плотина вместе с аванкамерой и водозабором входила в состав головного узла деривационной ГЭС Уюм I-II, расположенной ниже по течению реки. Вода из водохранилища головного узла проходила через ко-

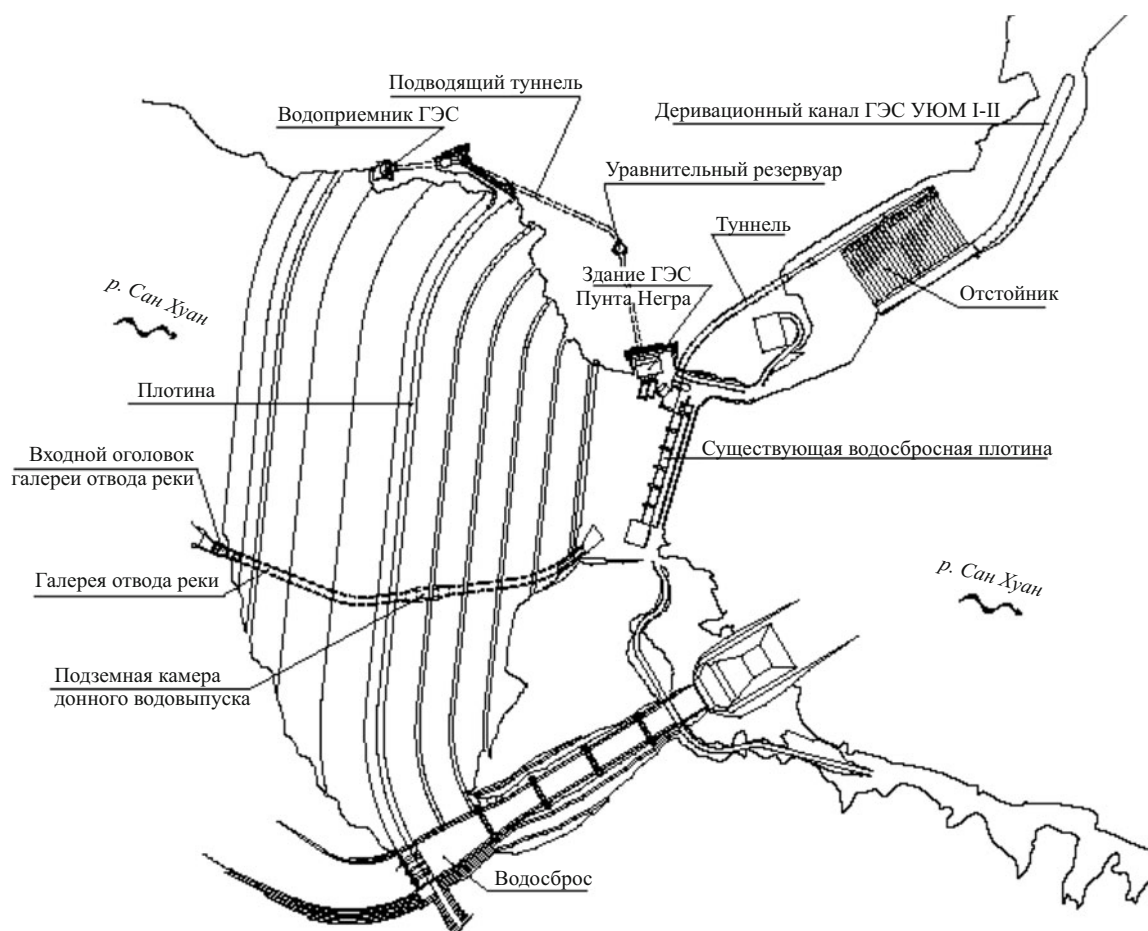


Рис. 7. План гидроузла ГЭС Пунта-Негра, базовый проект

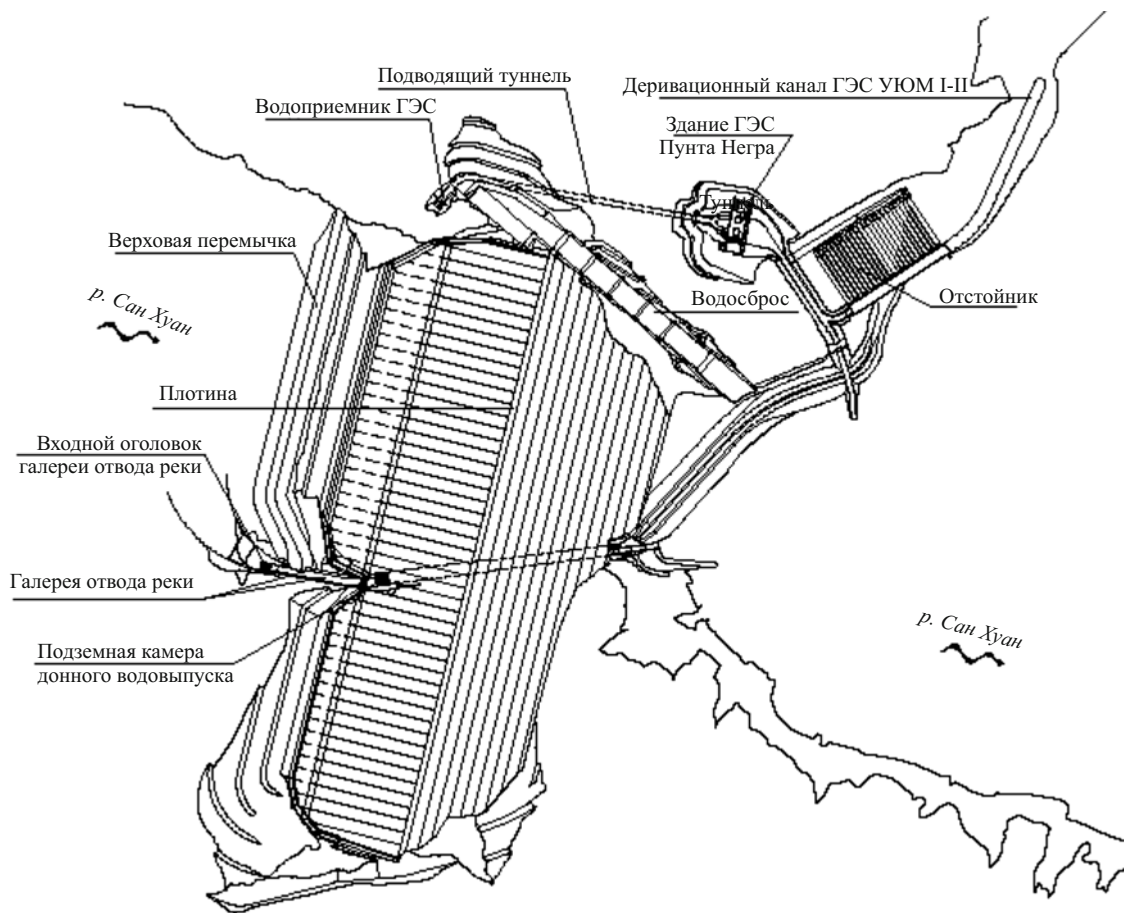


Рис. 8. План гидроузла Пунта-Негра, оптимизированный проект

роткий туннель, размещённый в левобережном скальном массиве, и попадала в камеры отстойника, а затем в протяжённый деривационный канал, который осуществлял водоснабжение оросительной системы и гидроагрегатов ГЭС Уюм I-II. В соответствии с требованиями тендера в течение строительства ГЭС Пунта-Негра должно было обеспечиваться бесперебойное водоснабжение нижерасположенных объектов гидроэнергетики и сельского хозяйства. Таким образом, перед проектировщиками стояла непростая задача вписать новые гидротехнические сооружения в существующую систему подпорных и водопроводящих сооружений головного узла действующей ГЭС Уюм I-II.

Базовый проект фирмы "Initec" предусматривал возведение каменнонабросной плотины высотой 97 м, объёмом насыпи 10,5 млн. м³, с центральным противофильтрационным ядром из связных материалов (рис. 7). Здание ГЭС планировалось разместить у подножия крутого левобережного склона в зоне существующего водохранилища. Водоприёмник шахтного типа соединялся со зданием ГЭС подводящим туннелем диаметром 5,1 м, длиной 306 м до уравнительного резервуара и затем туннелем диаметром 4,6 м, длиной 128 м до гидроагрегатов. Отвод воды от здания ГЭС осуществлялся в

пазуху между низовым откосом плотины Пунта-Негра и существующей водосливной плотиной. Оттуда через туннель и отстойник вода поступала в деривационный канал ГЭС Уюм I-II. Эта компоновка имела существенный недостаток: работы по зданию ГЭС были сопряжены с необходимостью возведения высоких строительных перемычек и организацией подъезда в труднодоступную зону. В ходе оптимизации проекта фирмой "Hydroconsultoria" было принято решение о размещении здания ГЭС на широкой левобережной пойме в нижнем бьефе существующей водосливной плотины, что значительно облегчило строительные условия (рис. 8, 9). При наличии двух крупных водохранилищ ГЭС Лос-Караколес и Пунта-Негра отпала необходимость в использовании отстойника для осветления воды, поэтому отвод воды от здания ГЭС осуществлялся в обход отстойника непосредственно в деривационный канал ГЭС Уюм I-II, что позволило получить дополнительный напор на гидроагрегатах ГЭС Пунта-Негра за счёт более низких уровней воды в нижнем бьефе. Новое расположение здания ГЭС позволило сократить длину подводящего туннеля до 400 м, соединив водоприёмник со зданием ГЭС прямым туннелем диаметром 4,5 м и уклоном 14 % без устройства уравнительного резервуара.



Рис. 9. Здание ГЭС Пунта-Негра

Для защиты оборудования и обделки туннеля от воздействия гидравлического удара в здании ГЭС предусматривался быстродействующий водовыпуск диаметром 2,4 м, соединённый с напорным водоводом. Он был снабжён конусным затвором, который срабатывал при увеличении давления выше допустимого. Водовыпуск также был предназначен для подачи воды в деривационный канал ГЭС Уюм I-II при останове гидроагрегатов ГЭС Пунта-Негра.

Претерпел существенные изменения и проект плотины. Как и в случае Лос-Караколес, вместо каменнонабросной плотины с центральным ядром из связных материалов была применена плотина с железобетонным противофильтрационным экраном (рис. 10). С целью сокращения профильных объёмов насыпи ось плотины была смещена в сторону нижнего бьефа, где долина реки сужалась. Существующая водосливная плотина теряла своё назначение и засыпалась грунтом низового откоса плотины ГЭС Пунта-Негра.

В соответствии с базовым проектом водосброс лоткового типа размещался на правом берегу реки. Однако дополнительные инженерно-геологические изыскания показали, что в этом месте ранее располагалось древнее русло реки со значительным заглублением коренных пород основания. В связи с этим было изменено положение лоткового водосброса с правого берега на левый, а вместо водослива с четырьмя сегментными затворами был предусмотрен входной оголовок с более экономичным неконтролируемым боковым водозабором.

На ГЭС Пунта-Негра работы начинались со строительства сооружений отвода воды на правом берегу реки. Здесь не было возможности сделать туннель, поэтому было принято решение о строительстве двух железобетонных галерей длиной около 500 м, сечением $3,0 \times 3,0$ м и $5,5 \times 7,5$ м, кото-



Рис. 10. ГЭС Пунта-Негра: строительство плотины с железобетонным экраном

рые затем сверху засыпались грунтом плотины. Большая галерея в период строительства использовалась для сброса паводковых расходов, а на период эксплуатации переделывалась в донный водовыпуск. Для этого в специальной камере галереи устанавливались затворы и механизмы для их управления и обслуживания. Малая галерея в период строительства служила для подачи расходов воды на орошение сельскохозяйственных угодий и для водоснабжения ГЭС Уюм I-II, сопрягаясь с её деривационным каналом. Перед заполнением водохранилища малая галерея перестраивалась в транспортный подъезд к камере водовыпуска.

Все вышеперечисленные изменения базового проекта в соответствии с требованиями тендера велись под контролем заказчика с помощью надзорной комиссии AES/SUPERVISION, которая осуществляла ревизию и утверждение проектной документации. К концу 1998 г. между подрядчиком и комиссией возник конфликт. Комиссия AES/SUPERVISION требовала предоставления неоправданно большого объёма проектной документации высокой степени детализации, что приводило к затягиванию сроков проектирования и, как следствие, срыву календарного графика строительства. В течение 1999 г. строительство сильно тормозилось. Для решения проблемы был найден оригинальный выход. Подрядчиком была приглашена на стройку группа авторитетных специалистов мирового уровня для проведения экспертизы состояния строительства и оценки качества проектной документации. В состав группы вошли профессор Béla Petry, гидравлик (Голландия); доктор техн. наук Giovanni Lombardi, гидротехник, специалист по общим вопросам организации строительства (Швейцария); доктор техн. наук Wynfrieth Riemer, геотехник (Германия); инженер Bayardo Matérón, консультант по грунтовым плотинам с железобетонным экраном (Бразилия). В течение двух недель группа работала на стройплощадке, а по окончании



Рис. 11. ГЭС Лос-Караколес: затопление пазухи между плотиной и верхней перемычкой

передала заказчику позитивное заключение, которое позволило устранить искусственное противодействие комиссии AES/SUPERVISION и продолжить строительство с высокой интенсивностью работ.

В мае 2001 г. состоялось перекрытие русла р. Сан-Хуан в створе верхней перемычки ГЭС Лос-Караколес. Сток реки был переведён на строительный туннель, а в русловой части створа начались работы по отсыпке цокольной части плотины и сооружению “стены в грунте”. Строительные работы продолжались до середины 2002 г., пока в Аргентине не начался экономический кризис, в результате которого было остановлено сначала строительство ГЭС Пунта-Негра, а затем и ГЭС Лос-Караколес с готовностью плотины 30%. Официальное расторжение контракта между заказчиком и подрядчиком состоялось в ноябре 2002 г.

Работы по ГЭС Лос-Караколес были возобновлены лишь в 2005 г., но уже с другим составом участников проекта. Заказчиком строительства выступала компания “Energía Provincial Sociedad del Estado” (EPSE), представляющая интересы провинции Сан-Хуан. В состав подрядчика — консорциум “UTE” вошли аргентинские строительные компании “Techint Ingeniería y Construcción” и “Panedile Argentina”.

Строительная площадка ГЭС Лос-Караколес была обеспечена высокопроизводительной строительной техникой и квалифицированными трудовыми ресурсами, что позволило добиться высокой интенсивности ведения работ. Строительство велось одновременно как по плотине с водосбросом, так и по гидроэнергетическим сооружениям: водоприёмнику ГЭС, деривационному туннелю с уравнительным резервуаром и стальным трубопроводом, зданию ГЭС и электрической подстанции. Однако 13 ноября 2005 г./ строительные работы были



Рис. 12. ГЭС Лос-Караколес: промежуточный вал и механизм для демонтажа рабочего колеса гидротурбины

прекраны. В результате разрушительного паводка с расходом притока, превышающим максимальную пропускную способность туннеля отвода реки, была частично разрушена верхняя перемычка и затоплена вся строительная техника, которая находилась в пазухе между перемычкой и плотиной (рис. 11). К счастью, высота плотины к этому моменту значительно превышала высоту перемычки, что предотвратило развитие более серьёзной аварии.

Обстоятельства возникновения такого паводка не были достоверно изучены. В прессе высказывалось мнение, что в узкой горловине р. Санта-Крус (приток р. Сан-Хуан) в районе населённого пункта Калингаста образовалась “пробка” из грунта, который длительное время осаждался в виде речных наносов. Сток реки накапливался и создал водоём. В результате последующего размыва “пробки” образовалась волна прорыва, которая расходом около 1000 м³/с распространялась вниз по р. Сан-Хуан, пока не встретила на своём пути препятствие в виде верхней перемычки плотины ГЭС Лос-Караколес.

На ликвидацию последствий аварии потребовались дополнительные финансовые средства и пересмотр календарного графика строительства со смещением сроков ввода гидроагрегатов.

В качестве поставщика основного гидросилового оборудования выступала российская компания “Силовые машины” (СМ), выигравшая конкурс у аргентинской компании “IMPESA”. СМ поставляли продукцию, изготовленную на собственных предприятиях компании “ЛМЗ” и “Электросила”. В объём поставки СМ входили две гидротурбины с дисковыми затворами и регуляторами частоты вращения и два гидрогенератора с системами возбуждения.



Рис. 13. ГЭС Лос-Караколес: опускание рабочего колеса гидротурбины в кратер



Рис. 14. ГЭС Лос-Караколес: опускание ротора гидрогенератора в кратер

Основные характеристики гидросилового оборудования ГЭС Лос-Караколес

Гидротурбина

Тип	Радиально-осевой
Диаметр рабочего колеса	2050 мм
Напоры нетто, м:	
максимальный	155,9
номинальный	150,0
минимальный	126,6
Мощность при номинальном напоре	62,5 МВт
Средневзвешенный гарантированный КПД	92,59 %

Гидрогенератор

Тип	Подвесной
Номинальная мощность	60,78 МВт
Номинальное напряжение	13,8 кВ
Синхронная частота вращения	428,6 1/мин
Частота тока	50 Гц
Средневзвешенный гарантированный КПД	98,61 %

Данное оборудование имело свои особенности и было адаптировано к условиям монтажа и эксплуатации. В частности, р. Сан-Хуан имеет ледниковое питание с высоким содержанием твёрдых наносов в половодный период, что может привести к абразивному износу материала рабочего колеса гидротурбины. Для ремонта рабочего колеса его необходимо извлекать из кратера. Для этого в конструкции гидротурбины предусматривалась возможность демонтажа рабочего колеса без демонтажа ротора гидрогенератора. Это достигалось нали-

чием промежуточного вала между валом гидротурбины и валом гидрогенератора. При необходимости проточная часть гидротурбины осушалась, промежуточный вал и крышка турбины демонтировались, затем поднималось рабочее колесо гидротурбины специальным грузоподъёмным механизмом (рис. 12).

Гидрогенератор был выполнен в подвесном исполнении с подпятником, расположенным в верхней крестовине, и с двумя направляющими подшипниками генератора, верхний из которых встроен в центральную часть верхней крестовины, а нижний — в центральную часть нижней крестовины. Сегменты подпятника и подшипника имели эластичное металлопластмассовое покрытие (тефлон).

ОАО “Силовые машины” для ГЭС Лос-Караколес на условиях субконтракта поставляло также оборудование других заводов-изготовителей:

вспомогательные технологические системы здания ГЭС: дренажа и осушения проточной части, мобильную установку для очистки масла, сжатого воздуха высокого и низкого давления, технического водоснабжения и питьевой воды, вентиляции — компания “IME” (Аргентина, г. Мендоса);

гидромеханическое оборудование водосброса (основные сегментные и ремонтные затворы), донного водовыпуска: плоские затворы основные и ремонтные, закладные части, гидроприводы, МНУ,



Рис. 15. ГЭС Пунта-Негра: сборка облицовки конуса отсасывающей трубы на местном заводе

подъёмные краны для обслуживания затворов — компания “IME” (Аргентина, г. Мендоса);

стальной трубопровод диаметром в свету 4,3 м от уравнительного резервуара с развилкой на два агрегата — компания “IME” (Аргентина, г. Мендоса);

мостовой кран машинного зала г. п. 105/10 т — компания “Industrias Electromecánicas GH” (Испания);

токопроводы генераторного напряжения 13,8 кВ — ОАО “Невский Завод Электроцит” (РФ, г. Санкт-Петербург);

контрольно-измерительная аппаратура фирмы “Rittmeyer” — компания “Bertschi Instrumentos” (Аргентина, г. Буэнос-Айрес).

Генпроектировщиком электромеханического оборудования в объёме поставки СМ являлась компания “IME”. Остальное оборудование гидроузла поставлялось различными компаниями по прямым договорам с консорциумом “UTE”. Монтаж оборудования производился силами компании “Techint Ingeniería y Construcción”.

Монтажные работы по гидротурбине № 1 ГЭС Лос-Караколес начались 18 сентября 2006 г. с установки закладных частей, в том числе облицовок колена и конуса отсасывающей трубы. В соответствии с требованиями тендера после монтажа статора с металлической спиральной камерой было выполнено гидравлическое испытание максимальным давлением 3,6 МПа. С 20 июня 2007 г. производилось бетонирование при заполненной водой спиральной камере под давлением 1,5 МПа.

Одновременно велись работы по сборке ротора гидрогенератора на стенде, расположенном на монтажной площадке. 15 мая 2008 г. в кратер опустили рабочее колесо с валом гидротурбины (рис. 13).



Рис. 16. ГЭС Пунта-Негра: монтаж “с колёс” статора со спиральной камерой гидротурбины

Параллельно в шахте гидроагрегата велись работы по монтажу статора гидрогенератора. 22 июля 2008 г. опустили ротор гидрогенератора № 1 в кратер (рис. 14). После проверки линии вала и окончательной сборки гидроагрегата производились пусконаладочные испытания. Также выполнялись работы по монтажу технологических систем здания ГЭС и установке электротехнического оборудования на площадке электрической подстанции.

Первый гидроагрегат был принят в коммерческую эксплуатацию 22 июля 2009 г., после 72-часовой работы под нагрузкой, второй — 5 декабря 2009 г. Таким образом, продолжительность монтажа гидроагрегата № 1 составила 2 года 10 месяцев, а гидроагрегата № 2 — 3 года 3 месяца.

Гарантированные значения средневзвешенного КПД и выдаваемой мощности гидроагрегата должны были подтверждаться натурными испытаниями. Согласно условиям тендера, в случае недостижения заявленных величин заказчиком предусматривались штрафные санкции в размере 157 тыс. долл. США за каждый 0,1 % нехватки КПД и 1,25 тыс. долл. США за каждый 1 кВт недостигнутой мощности. В формуле расчёта средневзвешенного значения использовались данные для максимального, минимального и номинального значения напора. К сожалению, последующие годы были маловодные, выработка электроэнергии ГЭС составила лишь 30 % планируемой величины. Водохранилище ГЭС Лос-Караколес было сработано до отметок, близких к уровню мёртвого объёма (УМО), обеспечивая нужды ирригационной системы. Такая ситуация не позволяла провести измерения мощности и КПД при номинальном и максимальном значении напоров и вынудила заказчика отказаться от проведения натурных испытаний.

По окончании работ на ГЭС Лос-Караколес в январе 2010 г. развернулось строительство ГЭС Пунта-Негра с теми же компаниями подрядчика, что и на ГЭС Лос-Караколес. Поставщиком гидросилового оборудования была компания “Силовые машины”, в объём поставки входили две гидротурбины с дисковыми затворами и регуляторами частоты вращения и два гидрогенератора с системами возбуждения.

Основные характеристики гидросилового оборудования ГЭС Пунта-Негра

Гидротурбина

Тип радиально-осевой

Диаметр рабочего колеса 2200 мм

Напоры нетто, м:

максимальный 89,46

номинальный 80,07

минимальный 56,77

Мощность при номинальном напоре . . . 31,6 МВт

Гидрогенератор

Тип Зонтичный

Номинальная мощность 31,45 МВт

Номинальное напряжение 13,8 кВ

Синхронная частота вращения 300 1/мин

Частота тока 50 Гц

На условиях субконтракта компания “Силовые машины” поставляла оборудование токопроводов генераторного напряжения 13,8 кВ производства ОАО “Невский Завод Электротит”.

Монтаж оборудования производился силами компании “Techint Ingeniería y Construcción” и “IME”.

В связи со сжатыми сроками поставки закладных частей компания “Силовые машины” приняла решение об изготовлении облицовок колен и конусов (рис. 15) отсасывающих труб на заводах местной аргентинской фирмы в Буэнос-Айресе. Облицовки спиральных камер вместе со статорами гидротурбин общим весом 33,7 т и габаритами 7,0 × 8,1 м по условиям транспортирования были изготовлены целиком (рис. 16), что позволило увеличить степень готовности оборудования, ускорило и упростило выполнение монтажных работ в кратерах гидроагрегатов.

Монтаж закладных частей гидротурбины начался 1 июля 2012 г. 11 августа 2014 г. в кратер опустили рабочее колесо с валом гидротурбины. Как и на ГЭС Лос-Караколес, конструкция гидротурбины Пунта-Негра предусматривала возможность извлечения рабочего колеса гидротурбины без демонтажа ротора гидрогенератора. 3 ноября 2014 г. в кратер опустили ротор гидрогенератора (рис. 17).

В настоящее время завершается монтаж гидроагрегатов. Ведутся работы по монтажу технологи-



Рис. 17. ГЭС Пунта-Негра: опускание ротора гидрогенератора в кратер

ческих систем здания ГЭС и установке электротехнического оборудования. Завершаются строительные работы. Ввод гидроагрегатов ГЭС Пунта-Негра в промышленную эксплуатацию планируется в августе 2016 г.

Выводы

1. Концессионная схема финансирования — одна из возможных форм успешной реализации проектов гидроэнергетического строительства. Она актуальна, когда существует дефицит государственных средств для реализации дорогостоящих инфраструктурных проектов.

2. Недостаточная проработка базового проекта, выставленного на торги, может привести к необходимости изменения компоновочных и конструктивных решений и возникновению коммерческих рисков для подрядчика.

3. Использование местного рынка для изготовления части оборудования позволяет вписаться в жесткие требования заказчика по срокам изготовления и поставки оборудования, в первую очередь закладных деталей гидротурбины.

4. Поставка оборудования крупными узлами — облицовки колен, конусов отсасывающих труб, статоров со спиральными камерами гидротурбин и др. — позволяет сократить трудозатраты и сроки монтажа.