

# Непредусмотренные ситуации при выполнении монтажных работ, пробных пусках гидроагрегатов, эксплуатации оборудования ГЭС

Михайлов М. Г.<sup>1</sup>, руководитель проекта (АО “Тяжмаш”)

Представлена информация о ситуациях во время выполнения строительно-монтажных, пусконаладочных работ, эксплуатации технологического оборудования ГЭС.

**Ключевые слова:** здание ГЭС, гидротурбина, байпас дискового затвора, распределитель ковшовой гидротурбины, гидрогенератор, гидроагрегат, дренажные протечки.

## Unforeseen situations during erection works, trial runs of hydroelectric units, operation of HPP equipment

Mikhailov M. G.<sup>1</sup>, Project manager (JSC “Tyazhmash”)

Information is provided on situations during construction, erection, commissioning, operation of HPP process equipment.

**Keywords:** HPP machine hall, hydro turbine, butterfly valve bypass, bucket hydro turbine distributor, hydro generator, hydro unit, drainage leaks.

**Монтажные работы. Ситуация 1.** Гидроагрегат с максимальной мощностью гидротурбины 68 МВт, гидротурбина радиально-осевого типа, расчётный напор 215,06 м, гидрогенератор зонтичный, напряжение 13,8 кВ, частота вращения 300 об/мин, частота сети 60 Гц, здание ГЭС подземного типа, в машинном зале установлено три гидроагрегата. К зданию ГЭС вода подводится одним общим напорным водоводом с разветвлением на три гидроагрегата. Между напорным водоводом и спиральной камерой каждого гидроагрегата установлен дисковый затвор диаметром 2400 мм, который через компенсатор с торцевым уплотнением (резиновый шнур круглого сечения) соединён с фланцем спиральной камеры гидротурбины. Страна с тропическим климатом.

Заказчиком был остановлен монтаж трех предтурбинных дисковых затворов с конца января 2021 года по причине присутствия коррозионных следов на поверхностях фланцев спиральных камер (рис. 1). Причина коррозии – следствие двухлетнего простоя из-за приостановки контракта. Заказчик потребовал выполнить механическую обработку мобильным станком всей поверхности фланца с целью полного удаления следов коррозии. Подрядчик совместно со специалистами Заказчика произвел замеры глубины коррозионных следов с помощью приспособления с микрометрическим индикатором часового типа (рис. 2, 3).

На основании анализа результатов замеров и опыта подобных работ на других ГЭС, Подрядчик выдал заключение о возможности дальнейшего

монтажа с выполнением необходимых подготовительных работ с фланцами, а также подтвердил гарантии функциональности и работоспособности этого узла. Суть подготовительных работ заключалась в типовой монтажной операции ручного шлифования зоны контакта уплотнительного шнура с шероховатостью лучше, чем требуется в чертеже (это было необходимо для удаления коррозионных следов и обеспечения плотного контакта уплотнения).

Коррозионные следы представляли собой равномерно распределенные поры со средним диаметром 1 – 2 мм и глубиной 0,1...0,2 мм. Суммарная площадь коррозионных следов на каждом фланце составляла менее 5 % от всей контактной поверхности фланца. На 95 % площади каждого из трёх фланцев имелись четкие следы от заводской механической обработки, которая была выполнена с высокой точностью и служила базой для ручной механической шлифовки в пределах 0,2 мм с гарантированным сохранением плоскостности.

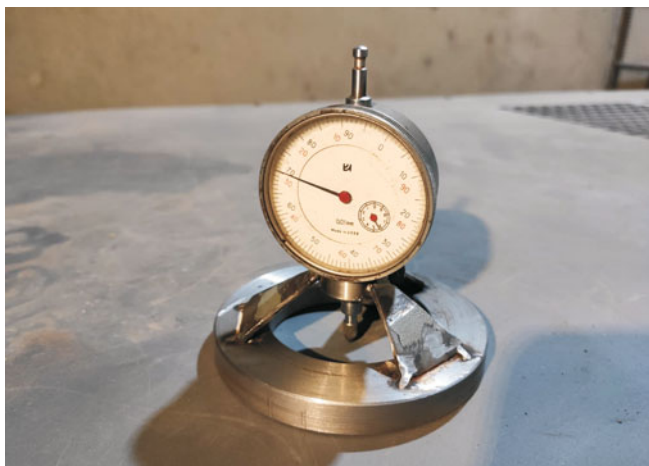
Коррозионные следы влияли только на работу уплотнения, т.е. герметичность данного фланцевого соединения. По этой причине предложение Подрядчика заключалось в локальном удалении следов коррозии только в зоне поверхности, находящейся в контакте с уплотнительным шнуром фланца компенсатора. На остальной части поверхности фланца спиральной камеры наличие коррозионных следов допускалось, поскольку они не оказывали абсолютно никакого влияния на геометрию поверхности фланца или плотность фланцевого соединения. Функционально шероховатость важна только в зоне контакта с уплотнением.

<sup>1</sup> mikhailovm@mail.ru

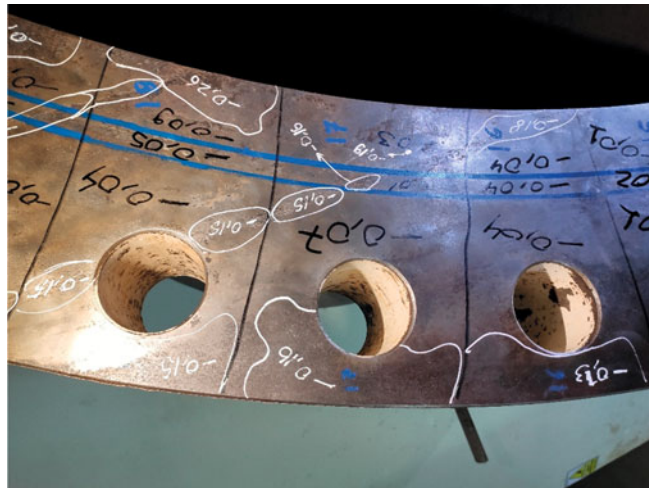


**Рис. 1.** Входной фланец спиральной камеры гидротурбины

Несмотря на все пояснения, заключение Подрядчика было отклонено специалистами Заказчика, а работы по монтажу дисковых затворов гидроагрегатов 1 – 3 были запрещены. Основным аргументом Заказчика был запрет на выполнение локального шлифования поверхности вручную, а качество выполнения данных работ на всей площади фланца вручную не обеспечило бы требований чертежа. Подрядчик объяснил, что механическая обработка фланца с использованием мобильного станка является технологически сложной операцией, учитывая размеры фланца, вертикальное расположение и наличие многочисленных отверстий. Подрядчик в таких случаях всегда использовал механическую ручную шлифовку с контролем неплоскостности по отпечатку от проверочной плиты. Также Подрядчик предупредил, что в случае выполнения механической обработки сторонней организацией с использованием мобильного оборудования по требованию специалистов Заказчика не сможет гарантировать



**Рис. 2.** Приспособление с микрометрическим индикатором часового типа для контроля поверхности фланца спиральной камеры



**Рис. 3.** Фрагмент фланца спиральной камеры. Между двумя синими кольцевыми линиями будет расположено уплотнение между фланцем спиральной камеры и фланцем компенсатора дискового затвора

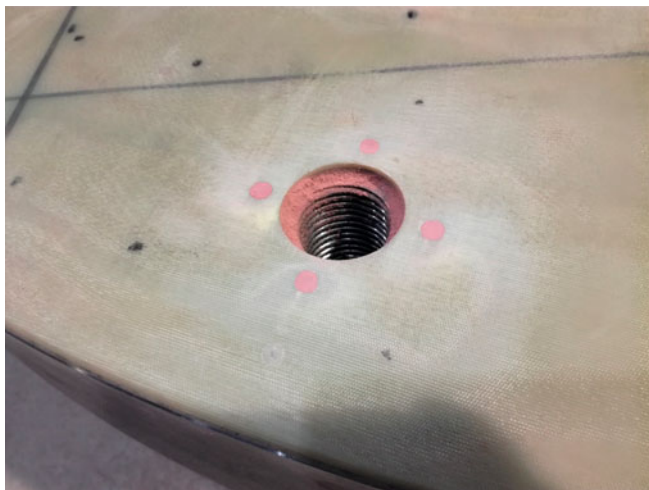
Заказчику соответствие конечного результата требованиям чертежа.

Организация, которая была рекомендована специалистами Заказчика для выполнения механической обработки фланцев не смогла предоставить необходимую техническую информацию, подтверждающую компетентность и квалификацию (референцию, модель оборудования, технологию работ и фотографии реальных примеров работ аналогичной сложности).

Предложение Подрядчика заключалось в локальном восстановлении шероховатости поверхности в зоне контакта шнура для надёжной работы уплотнения фланцевого соединения. Функциональная надёжность данного фланцевого соединения гарантировалась Подрядчиком на весь срок службы гидроагрегата и могла быть проверена и подтверждена в процессе пуско-наладочных испытаний, сбросов нагрузки с повышением давления в напор-



**Рис. 4.** Текстилитовая прокладка зеркального диска подпятника гидрогенератора с текстилитовыми технологическими пробками



**Рис. 5.** Новые эпоксидные заклепки на текстолитовой прокладке зеркального диска подпятника гидрогенератора после ремонта

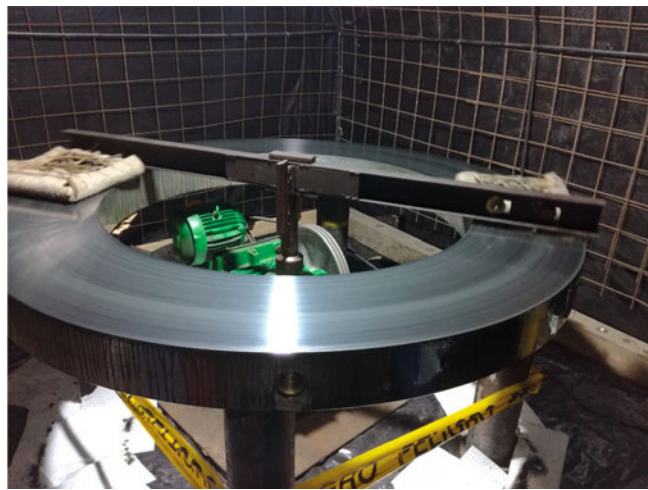
ном водоводе, 72-часовыми сдаточными испытаниями под нагрузкой, а также двухлетней гарантийной эксплуатации.

В результате запрета Заказчика на продолжение монтажа дисковых затворов и длительная переписка привели к искусственному простою в шесть месяцев, после которого Заказчиком было принято решение разрешить монтаж дисковых затворов согласно предложению Подрядчика.

**Ситуация 2.** Гидроагрегат с максимальной мощностью гидротурбины 68 МВт, гидротурбина радиально-осевого типа, расчётный напор 215 м, гидрогенератор зонтичный, напряжение 13,8 кВ, частота вращения 300 об/мин, частота сети 60 Гц, подпятник генератора с сегментами с тефлоновым (фторопластовым) покрытием, диаметр зеркального диска подпятника 1870 мм, здание ГЭС подземного типа, в машинном зале установлено три гидроагрегата.

После опускания ротора гидрогенератора в кратель и соединения втулки подпятника с зеркальным диском проверили сопротивление изоляции зеркального диска подпятника. Оно оказалось 50 кОм (в соответствии с инструкцией по монтажу гидрогенератора сопротивление изоляции зеркального диска должно быть не менее 1 МОм), тогда как на монтажной площадке при подготовке к монтажу сопротивление изоляции зеркального диска составляло более 30 МОм (замер сопротивления изоляции выполнялся мегомметром 500 В под весом притирочной плиты весом около 50 кг).

Осмотр и чистка контактных поверхностей, сушка штифтов и изоляции болтов не дало никакого эффекта. Учитывая затруднённый доступ к изоляции зеркального диска подпятника пришлось демонтировать ротор гидрогенератора и установить



**Рис. 6.** Шлифовка зеркальной поверхности диска подпятника гидрогенератора на монтажной площадке под проволочным каркасом, обтянутым снаружи пластиковой пленкой

его на монтажную площадку. Также демонтировали зеркальный диск для удобного доступа.

При осмотре текстолитовой прокладки, приклеенной к зеркальному диску, обратили внимание на текстолитовые технологические пробки в количестве 72 шт. размером 8 x 8 мм, выполненные при изготовлении зеркального диска (рис. 4).

Проверка показала, что в технологических отверстиях между пробками и зеркальным диском находилась электропроводная смазка, которая под весом ротора гидрогенератора выдавливалась, приводя к электрическому соединению зеркального диска и втулки подпятника. После того как технологические пробки высверлили, очистили отверстия и залили эпоксидной смолой (рис. 5), сопротивление изоляции зеркального диска в кратере гидроагрегата под весом ротора составило более 1 МОм. Монтаж гидроагрегата был продолжен.

**Ситуация 3.** Гидроагрегат с максимальной мощностью гидротурбины 68 МВт, гидротурбина радиально-осевого типа, расчётный напор 215,06 м, гидрогенератор зонтичный, напряжение 13,8 кВ, частота вращения 300 об/мин, частота сети 60 Гц, подпятник генератора с сегментами с тефлоновым покрытием, здание ГЭС подземного типа, в машинном зале установлено три гидроагрегата. Страна с тропическим климатом.

На зеркальной поверхности диска подпятника после распаковки были обнаружены следы начальной коррозии, как следствие длительного хранения. В соответствии с инструкцией по монтажу гидрогенератора требовалась полировка с использованием специальной пасты “ГОИ”. Для механизированной полировки было изготовлено специальное приспособление (рис. 6).

Для защиты зеркальной поверхности диска от пыли в машинном зале здания ГЭС, в котором про-



**Рис. 7.** Микрометрический индикатор часового типа на магнитной стойке для замера биения вала гидротурбины

должались строительные работы, над диском был возведен шатёр из проволочного каркаса, обтянутый снаружи пластиковой плёнкой (рис. 6). На выполнение шлифовки диска планировалось не более трёх дней. Однако вскоре на поверхности зеркальной поверхности диска были обнаружены кольцевые царапины.

Анализ обстоятельств показал, что царапины появились из-за осыпавшейся ржавчины проволочного каркаса укрытия над зеркальным диском (рис. 6). Пришлось защитить проволочный каркас пластиковой плёнкой изнутри. На устранение новых царапин механизированной шлифовкой потребовалось дополнительно две недели.

**Пробный пуск гидроагрегата и его испытания на холостом ходу. Ситуация 4.** Гидроагрегат с максимальной мощностью гидротурбины 16,3 МВт, гидротурбина радиально-осевого типа, максимальный напор 138 м, генератор – подвесной, частота вращения  $450 \text{ мин}^{-1}$ , частота сети 60 Гц, напряжение 13,8 кВ, количество гидроагрегатов – 3, подземное здание ГЭС, общий напорный водовод с разветвлением на три гидроагрегата, между спиральной камерой и напорным водоводом установлены дисковые затворы.

При пуске гидроагрегата на холостые обороты представитель Заказчика на одном из двух микрометрических индикаторах часового типа, установленных под углом  $90^\circ$  друг к другу, на уровне турбинного подшипника (рис. 7), заметил кратковременное показание величиной 2000 микрон и попросил дать объяснение.



**Рис. 8.** Сквозной проезд здания ГЭС с дренажным каналом перед воротами

На данном индикаторе была установлена скоба из алюминиевой фольги для защиты головки индикатора при вращении вала гидроагрегата, так как Подрядчик предполагал продолжительное по времени наблюдение за биением вала гидротурбины. В присутствии представителя Заказчика удалили алюминиевую скобу (кратковременно исказившую показания индикатора из-за пружинного эффекта), величина биения вала турбины составила 0,1 мм, как и на соседнем индикаторе, установленном под углом  $90^\circ$ , который изначально был без скобы. Также Заказчику было пояснено, что биение до 2000 микрон физически не могло произойти, так как воздушный зазор между неподвижным лабиринтом и рабочим колесом составлял 0,7 – 0,9 мм. А то, что после удаления алюминиевой скобы биение вала составило менее 0,1 мм подтверждало наличие проектного зазора в пределах 0,15 мм между сегментами турбинного подшипника и валом гидротурбины, что могло показать максимальную величину биения в пределах 0,3 мм при первом пуске гидроагрегата на холостые обороты.

Однако представителю Заказчика объяснение показалось сомнительным. Заказчиком было принято решение законтрактовать независимую компанию для перепроверки величины биения вала гидротурбины на холостом ходу. На ГЭС прибыл представитель компании с мобильным оборудованием, специально для него организовывались последовательные пуски трёх гидроагрегатов на холостые обороты.

По результатам испытаний независимая компания подтвердила биение вала гидротурбины не более 0,1 мм, что соответствовало международным нормам.

Необходимо отметить, что в соответствии с требованиями контракта к представителям Подрядчика предъявлялись специальные требования, а именно, руководитель работ на ГЭС должен был иметь



Рис. 9. Вид на машинный зал здания ГЭС шахтного типа

соответствующий опыт не менее 15 лет и участие не менее чем в двух аналогичных проектах с мощностью ГЭС не менее 50 МВт, руководители по монтажу и пуско-наладочным работам должны были иметь соответствующий опыт не менее 10 лет и участие не менее чем в двух проектах ГЭС мощностью не менее 50 МВт. Эти требования Заказчика были выполнены полностью.

Однако данная ситуация показала важность наличия соответствующего опыта также со стороны представителей Заказчика, так как его отсутствие привело к излишней переписке, неоправданной задержке пуско-наладочных работ, отвлечению персонала Подрядчика на дополнительные работы без необходимости.

**Ситуация 5.** Гидроагрегат с максимальной мощностью гидротурбины 33 МВт, гидротурбина радиально-осевого типа, максимальный напор 79,5 м, генератор – подвесной, частота вращения  $300 \text{ мин}^{-1}$ , напряжение 13,8 кВ, частота сети 60 Гц, полуподземное здание ГЭС с размещением двух гидроагрегатов в общей шахте, отметка перекрытия верхней крестовины гидрогенератора находится на 34 м ниже уровня монтажной площадки. В здании ГЭС имелся действующий сквозной проезд (правый берег здания) и заезд на монтажную площадку со стороны нижнего бьефа (левый берег здания).

В дневное время во время вращения гидроагрегата на холостом ходу при проведении испытаний на стенке шахты гидроагрегата был замечен поток воды. Гидроагрегат срочно остановили. В это время был сильный ливень. Дождевая вода стекала по водостоку с крыши здания ГЭС и из дренажного



Рис.10. Распределители гидротурбин ковшового типа до бетонирования

лотка перед воротами в машинный зал в общий дренаж (рис. 8). Из-за большого количества дождевой воды засорённый дренажный канал перед воротами здания ГЭС переполнился и вода потекла в машинный зал. Если бы сквозной проезд здания ГЭС имел продольный бетонный бордюр, то дренажная вода потекла бы до противоположных ворот здания ГЭС, перед которыми находился другой дренажный канал.

Из-за отсутствия строительного бордюра на краю шахты гидроагрегата дождевая вода потекла вниз к отметке перекрытия верхней крестовины гидрогенератора (рис. 9) и далее еще ниже, в шахту генератора, включая ротор и статор гидрогенератора.

Необходимо отметить, что отсутствие бордюра шахт гидрогенераторов, примыкающих к сквозному проезду и монтажной площадке, является недостатком проектирования строительной части, нарушением требований охраны труда, так как в процессе строительных работ или монтажа оборудования любой предмет на сквозном проезде или монтажной площадке мог скатиться, упасть в шахту, что могло привести не только к повреждению оборудования, но и к несчастному случаю.

В результате проникновения воды через перекрытие верхней крестовины снизилась величина сопротивления изоляции ротора и статора гидрогенератора. Потребовалась сушка обмотки с помощью вентиляционных потерь при вращении на холостых оборотах, с включением печей проектного обогрева шахты генератора.

При достижении сопротивления изоляции ротора гидрогенератора 30 кОм начали подавать минимальный ток в обмотку ротора от системы возбуждения. Сушка продолжалась пять дней. Были выполнены дополнительные работы по очистке генератора и нижних отметок. Вода попала и на вспомогательный горизонтальный гидроагрегат (расположенный на нижней отметке между двумя

основными гидроагрегатами), мощностью 1,4 МВт, который также пришлось подвергнуть сушке.

Если бы аварийная ситуация произошла ночью при работе основного или вспомогательного гидроагрегатов под нагрузкой, то могло бы произойти короткое замыкание с аварийным выводом гидроагрегата из работы на длительное время.

**Эксплуатация и ремонт оборудования. Ситуация 6.** Гидроагрегаты с турбинами ковшового типа (Пельтон), количество сопел гидротурбины – 6, с максимальной мощностью гидротурбины 188,3 МВт, максимальный напор 616,7 м, расход воды 34,7 м<sup>3</sup>/с, диаметр рабочего колеса 3349 мм, гидрогенератор – подвесной, частота вращения 300 мин<sup>-1</sup>, частота сети 60 Гц, напряжение 13,8 кВ. В подземном здании ГЭС установлены 8 гидроагрегатов, к зданию ГЭС подведены два напорных водовода с разветвлением каждого на две группы по 4 гидроагрегата с предтурбинными шаровыми затворами. ГЭС является самой крупной в стране с установленной мощностью 1500 МВт и покрывает до 30 % потребности в электроэнергии.

Гидроагрегаты находились в эксплуатации 6 лет с 2016 года (строительство длилось с 2010 по 2016 год). В 2014 году за два года до начала эксплуатации на внутренних поверхностях распределителей (сварной конструкции из листовой стали) ковшовых гидротурбин (рис. 10) были обнаружены поверхностные трещины. Трещины были обнаружены визуально, а затем количество трещин было уточнено с помощью неразрушающего метода контроля – магнитопорошковой дефектоскопии (МПД).

В 2015 году было зафиксировано 7646 трещин. Все они были заварены электросваркой до начала эксплуатации 18 ноября 2016 года. С этого момента начали появляться новые трещины. В июле 2022 года на ГЭС на внутренней поверхности распределителей были зафиксированы 17499 трещин. Трещины не поддавались окончательному ремонту и подвергали опасности персонал и оборудование.

Заказчик проводил предупредительные обследования. Все обследования Заказчика указывали на то, что детали распределителя были изготовлены из неправильно подобранной стали. Несмотря на ремонты трещин в 2015, 2018, 2019 и 2021 годах трещины не перестали появляться вновь. По мнению Заказчика, не были выдержаны требования международной нормы ASME при закупке материала и изготовлении распределителей. Над распределителями уложено 3200 м<sup>3</sup> бетона.

В настоящее время Заказчик рассматривает два варианта решения. Первый: приклеить к внутренней поверхности распределителя углеродное волокно, что вряд ли можно считать надёжным решением. Второй: пристроить к существующему но-

вый подземный машинный зал, в котором будут установлены новые распределители ковшовых гидротурбин должного качества. Второе решение чрезвычайно дорогостоящее.

Необходимо отметить, что закупка материалов, изготовление, поставка оборудования и строительная часть были выполнены одной и той же зарубежной компанией, которая до сих пор не признает ответственность перед Заказчиком. В свою очередь, Заказчик категорически отказывается принять объект, пока не будут устранены все ошибки строительства. В настоящее время решение вопроса об ответственности и исправлении выявленных дефектов вынесено на рассмотрение международного арбитража.

Помимо рассматриваемых вариантов ремонта распределителей Заказчик может пригласить компании, обладающие известным опытом распиливания и удаления железобетонных блоков после демонтажа гидротурбин и гидрогенераторов для замены распределителей ковшовых гидротурбин. Этот вариант может рассматриваться как один из альтернативных для сохранения существующего здания ГЭС с последовательной заменой распределителей гидротурбин на новые, с повторным возведением строительной части до отметки пола машинного зала и монтажом гидротурбин и гидрогенераторов.

Продолжая поиск оптимального решения, Заказчик использует накопленный опыт страны, а также продолжает приглашать экспертные компании из-за рубежа.

В новой конструкции распределителя ковшовой гидротурбины необходимо рассмотреть вариант железобетонного укрепления конструкции, который позволит значительно уменьшить толщину металла распределителя за счёт передачи части нагрузки на железобетон. Также необходимо рассмотреть возможность и необходимость в периметральном двойном армировании агрегатного блока. Данное решение было успешно использовано для закладных частей десяти гидротурбин мощностью 720 МВт на Саяно-Шушенской ГЭС. Причём до внедрения данные решения были совместно опробованы и уточнены на модели проектными организациями.

**Ситуация 7.** Здание ГЭС пристраивали к возведённому ранее ирригационному водохранилищу. В наземном здании ГЭС была предусмотрена установка 4 гидроагрегатов (2 больших по 72,5 МВт и 2 малых по 15 МВт), расчётный напор 145 м. На ГЭС был предусмотрен один общий напорный водовод для больших и малых гидроагрегатов. Он имел одну главную развилку для подачи воды к двум большим и двум малым гидроагрегатам и далее каждый рукав имел ещё две развилки для раз-

дельного подвода воды к большим гидроагрегатам № 1 и № 2, и к малым гидроагрегатам № 3 и № 4 соответственно.

Затянувшийся срок возведения плотины вынудил Заказчика принять и осуществить решение по ускоренному вводу малых гидроагрегатов, как ГЭС первой очереди, до ввода штатного водоприемника. Для этого был осуществлен временный водозабор из существующего водосбросного туннеля с устройством в нём внутренней сороудерживающей решётки и врезкой второго конца временного водовода в штатную малую развилку с установкой необходимой временной заглушки (диаметром 3 м) со стороны штатного верхового подвода от главной развилки.

Турбинному заводу были заказаны временные рабочие колеса гидротурбин на диапазон рабочих напоров от 65 до 95 м, с установкой их в штатную проточную часть гидротурбин и использованием принятых гидрогенераторов без изменения их частоты вращения. Два гидроагрегата мощностью по 15 МВт были введены в эксплуатацию по временной схеме в 2006 году, а работы по возведению плотины были временно приостановлены.

В 2022 году ранним утром на ГЭС произошла авария, к счастью, без человеческих жертв. Как оказалось, произошло разрушение временной заглушки, установленной для возможности подачи воды по временному водоводу к двум малым гидроагрегатам. Причина отрыва заглушки могла быть связана с выросшим уровнем воды в водохранилище, произошедшим гидравлическим ударом при аварийном отключении двух гидроагрегатов, работавших на максимальной мощности, а также коррозионным износом конструкции заглушки.

По предварительной информации в здании ГЭС до аварии никаких протечек воды из напорных водоводов монтируемых гидроагрегатов № 1 и 2 замечено не было, что говорит о мгновенном, а не постепенном разрушении заглушки. Также, возможно, причина разрушения временной заглушки связана с усталостью металла сварного соединения заглушки с напорным водоводом, либо с качеством выполненных работ при монтаже временной заглушки. Кроме того, остаётся вопрос о расчётном сроке эксплуатации временной заглушки, необходимых осмотрах и нагрузках.

В результате отрыв заглушки привёл к поступлению воды в штатный напорный водовод, а оттуда в здание ГЭС – в зону монтажных работ больших гидроагрегатов, где предтурбинные дисковые затворы ещё не были смонтированы. Далее вода поднялась снизу-вверх до отметки пола машинного зала с переливом за пределы здания ГЭС.

В качестве защиты должен был сработать затвор временного водовода, но не сработал, по-

скольку не имел исправной автоматики для опускания затвора. Для снижения уровня воды в здании ГЭС попытались открыть плоские затворы отсасывающих труб больших гидроагрегатов, но оперативно сделать это также не удалось. В то время как одна металлическая спиральная камера гидротурбины большого гидроагрегата была забетонирована и строительная часть была возведена практически до отметки пола машинного зала, вторая спиральная камера готовилась для гидравлического испытания, а после поступления дренажной воды в кра-тер гидроагрегата спиральная камера всплыла и находилась в плавающем состоянии до момента откачки воды из здания ГЭС.

Необходимо отметить, что аварийная ситуация не представляла никакой угрозы как для каменно-набросной с суглинистым ядром плотины ГЭС, так и для нижнего бьефа с отводящим каналом от здания ГЭС, так как поступающий расход воды был значительно меньше пропускной способности канала. Пришлось сбрасывать уровень воды водохранилища.

Спустя четыре месяца поступление воды в машинный зал удалось остановить, после чего начали откачку и очистку здания ГЭС, затем заново выставили металлическую спиральную камеру в проектное положение. Во временном напорном водоводе установили новую заглушку с герметичным люком посередине. Продолжили восстановление повреждённого затоплением оборудования малых и монтаж больших гидроагрегатов, а также всего комплекса общестанционных и агрегатных систем.

Одной из причин произошедшей аварии является недостаточное внимание к строгому выполнению технического обслуживания и поддержанию оборудования в исправном состоянии. Если временная схема превращается в долговременную, то по просьбе Заказчика должны быть разработаны дополнительные мероприятия для длительной безопасной эксплуатации и технического обслуживания.

**Ситуация 8.** Гидроагрегат с максимальной мощностью гидротурбины 16,3 МВт, гидротурбина радиально-осевого типа, максимальный напор 138 м, предтурбинный дисковый затвор диаметром 1550 мм с байпасом Ду200, на байпасе дискового затвора в соответствии с требованием Заказчика была установлена ремонтная задвижка с электроприводом, задействованная в пусковой схеме гидроагрегата и рабочая задвижка с гидроприводом, также задействованная в пусковой схеме гидроагрегата, гидрогенератор – подвесной, частота вращения 450 мин<sup>-1</sup>, частота сети 60 Гц, напряжение 13,8 кВ, количество гидроагрегатов – 3, подземное здание ГЭС, общий напорный водовод длиной 6 км с разветвлением на три гидроагрегата, находивших-



Рис. 11. Дисковый затвор с байпасом

ся в эксплуатации. Страна с тропическим климатом.

Во время сдачи Заказчику проектной панели управления ремонтной задвижкой с электроприводом байпаса дискового затвора (рис. 11) второго гидроагрегата с заполненным водой напорным водоводом, были предприняты несколько безуспешных попыток открытия-закрытия задвижки. Решили провести осмотр ремонтной задвижки. Было обнаружено серьезное повреждение штока (рис. 12) при этом ремонтная задвижка была полностью закрыта.

Необходимо отметить, что проектная панель управления поступила на ГЭС с задержкой, была смонтирована после заполнения напорного водовода, после начала эксплуатации. Причём ранее, до заполнения напорного водовода, без замечаний проводилась проверка работы электрического привода ремонтной задвижки на байпасе от временной панели, включая настройку конечных выключателей и защиту от повышенного момента вращения.



Рис. 12. Повреждение штока ремонтной задвижки (с электроприводом) байпаса дискового затвора.



Рис. 13. Временный байпас, соединяющий осушение напорного водовода с осушением спиральной камеры гидротурбины.

В связи с невозможностью быстрого осушения (для замены ремонтной задвижки) и последующего заполнения напорного водовода, что привело бы к срыву выработки электроэнергии трёх гидроагрегатов, было принято оригинальное решение по монтажу временного байпаса.

Было выполнено соединение металлическим трубопроводом Ду200 осушения напорного водовода с осушением спиральной камеры гидротурбины (рис. 13). Для выполнения этой работы не требовалось осушение ни напорного водовода, ни спиральной камеры гидротурбины.

После монтажа временного байпаса было выполнено гидравлическое испытание, проверка сварных швов цветной и ультразвуковой дефектоскопией. Испытания с водой подтвердили надёжность работы временного байпаса, то есть, выравнивания давления воды до и после дискового затвора. Схема автоматической системы управления пуском гидроагрегата осталась без изменений. Гидроагрегат был введён в эксплуатацию.

По согласованию с Заказчиком сигналы от ремонтной задвижки с электроприводом были выведены из системы автоматического управления на всех трёх гидроагрегатах до аварийной ситуации, при этом все три задвижки находились в открытом состоянии. В случае необходимости осушения напорного водовода – это возможно выполнить с помощью систем осушения гидроагрегатов № 1 или № 3, либо совместно. Демонтаж временного байпаса и замена повреждённой ремонтной задвижки с электроприводом на новую будет выполнена в координации с Заказчиком при плановом осушении напорного водовода. Проверку ремонтной задвижки с электроприводом и причину отказа можно будет выполнить после осушения напорного водовода и демонтажа поврежденной задвижки.



## Выводы

1. Техническими спецификациями, чертежами и руководствами не запрещается выполнение шлифования поверхности вручную. Подготовка фланцев с помощью шлифования поверхности вручную, а также с использованием ручных шлифовальных машин является типовой общепринятой процедурой производства монтажных работ, которая широко применяется при монтаже оборудования на ГЭС. В соответствии с требованиями международных контрактов, Подрядчик несёт ответственность за надёжную и долгосрочную работу оборудования, поэтому письменные гарантии Подрядчика в случае любого отклонения технического характера должны служить Заказчику достаточным основанием для продолжения монтажных работ.

2. При подготовке зеркальных дисков подпятника к монтажу, до опускания ротора гидрогенератора необходимо обращать внимание на технологические пробки на текстолитовой поверхности дисков и проводить необходимые мероприятия по проверке сопротивления изоляции.

3. При выполнении таких деликатных работ, как шлифовка или полировка зеркальной поверхности диска подпятника гидрогенератора, на монтаже необходимо защитить обрабатываемую поверхность от оседания абразивной пыли, а тем более, частиц ржавчины.

4. Для успешного исполнения контракта необходимый опыт должен быть как со стороны Подрядчика, что является типовым контрактным требованием, так и со стороны Заказчика. В случае отсутствия необходимого опыта у персонала Заказчика необходимо контрактовать специализированную компанию, обладающую необходимым опытом и персоналом для осуществления контроля за ходом монтажных, пуско-наладочных работ и ввода в эксплуатацию, не допуская задержек исполнения контракта.

5. При проектировании водостоков и дренажных каналов необходимо учитывать максимальный уровень осадков в данном регионе, а также следить за их состоянием. При проектировании здания ГЭС с размещением гидроагрегатов в шахте, необходимо предусматривать бетонный бордюр вдоль сквозного проезда в здание ГЭС, либо вокруг шахты гидроагрегата, а также дренаж воды на отметке проезда и монтажной площадки, не допуская проникновения воды в шахты гидроагрегатов. При проектировании строительной части здания ГЭС шахтного типа необходимо обращать особое внимание на соблюдение требований техники безопас-

ности в период строительства и эксплуатации, в частности, предусматривать бетонный бордюр вокруг шахт, в которых размещены гидроагрегаты.

6. С учётом катастрофических последствий ошибок проектирования и изготовления, строительства и эксплуатации ГЭС, необходимо создать некоммерческий международный центр экспертного сообщества гидротехников, гидроэнергетиков и других специалистов, связанных с тематикой ГЭС, куда могли бы обратиться Заказчики для получения первичных квалифицированных рекомендаций по решению сложных проблем.

7. Информация о случаях аварийных ситуаций на технологическом оборудовании ГЭС должна быть открытой и анализироваться специалистами и экспертами для выработки новых или уточнения действующих норм проектирования, монтажных, пусконаладочных работ и эксплуатации, чтобы исключить повторение подобных случаев на других ГЭС.

8. Заказчикам необходимо обращать внимание на целесообразность электропривода для редко используемых ремонтных задвижек байпасов дисковых затворов, что будет также требовать техническое обслуживание электропривода и панели управления. Заказчики и Подрядчики должны предусматривать испытание “открытие-закрытие” ремонтной задвижки байпаса до и после заполнения водой напорного водовода. Представляется чрезмерным включение ремонтной задвижки байпаса дискового затвора в схему автоматического управления гидроагрегатом, что приводит к неоправданной перегрузке системы автоматического управления и, как следствие, может привести к аварийной ситуации. Наиболее оптимальным и достаточным представляется использование ручной задвижки в качестве ремонтной на байпасе дискового затвора. Заказчикам и Подрядчикам при строительстве ГЭС необходимо обращать особое внимание на своевременную поставку оборудования, влияющего на герметичность всей длины проточного тракта. Испытания панели управления запорной арматурой, связанной с находящимся под давлением напорным трактом, должны выполняться по Программе и Наряду-допуску от Заказчика с особыми мерами безопасности и специальными мероприятиями. В частности, должен быть наблюдающий от Подрядчика с радиостанцией около ремонтной задвижки с электроприводом. Также около задвижки с электроприводом должен быть представитель Заказчика, если гидроагрегат находится в эксплуатации.