

Непредусмотренные ситуации при выполнении строительно-монтажных работ, эксплуатации и модернизации оборудования ГЭС

Михайлов М. Г.¹, руководитель проектов (АО “ТЯЖМАШ”)

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

Ключевые слова: напорный водовод, речные наносы, масляные насосы трансформаторов, уплотнение вала гидротурбины, электрическая подстанция, гидрогенератор, гидротурбина пропеллерного типа.

Unforeseen situations during construction and installation works, operation and modernization of HPP equipment

Mikhailov M. G.¹, Project manager (JSC “TYAZHMASH”)

Information is provided on technical situations during the construction and installation, operation and modernization of HPP technological equipment.

Keywords: penstock, river sediments, oil pumps of transformers, hydro turbine shaft seal, electrical substation, hydro generator, propeller-type hydro turbine.

Строительно-монтажные и монтажные работы

Ситуация 1. Гидроагрегат мощностью 7 МВт, горизонтальная гидротурбина радиально-осевого типа, расчётный напор 128,8 м, частота вращения 750 мин⁻¹, расчётный расход 6,2 м³/с, генератор — горизонтальный, частота сети 50 Гц. В здании деривационной малой ГЭС установлен 1 гидроагрегат. Напорный водовод длиной 2,1 км выполнен из высокопрочной стеклопластиковой трубы диаметром 2,2 м, рассчитанной на давление воды 16 кГ/см².

На полу здания ГЭС на этапе монтажа гидроагрегата появился поток воды (рис. 1). Оказалось, что деривационный напорный водовод был смонтирован в траншее, прошёл гидравлическое испытание целиком, но его не успели присыпать грунтом по проекту, к сожалению, напорный трубопровод не был заполнен водой. Прошёл сильный ливень, траншея заполнилась дождевой водой, напорный водовод всплыл, из-за чего произошло раскрытие нескольких соединений труб напорного водовода в траншее, через образовавшиеся щели между участками труб началось поступление грязной дождевой воды в водовод. В это время в здании ГЭС в напорном трубопроводе был открыт люк для осмотра, через который дренажная вода начала поступать в машинный зал, затопив приямки предтурбинного затвора и масляной станции гидрогенератора, кабель-

ные лотки, повредив часть оборудования, включая подтопление гидрогенератора. Завод-изготовитель гидрогенератора поднял вопрос о технической гарантии на оборудование в связи с отказом Заказчика от отгрузки гидрогенератора на завод для ревизии и восстановления. Для восстановления оборудования в здании ГЭС выполнили сушку гидрогенератора и электрических панелей, удалили песок и глину из напорного водовода и из приямков, а также с пола машинного зала и из отсасывающей трубы. Через две недели ситуация с всплытием напорного водовода повторилась из-за очередного сильного ливня. Два соединения труб напорного водовода вновь раскрылись, и грязная дренажная вода вновь поступила из траншеи в напорный водовод, но на этот раз был закрыт люк для осмотра. В результате, потребовалась промывка напорного водовода от песка и глины. Напорный водовод отремонтировали, повторно выполнили гидравлическое испытание и продолжили подготовку к пуско-наладочным испытаниям гидроагрегата.

Ситуация 2. Гидроагрегат с максимальной мощностью гидротурбины 16,3 МВт, гидротурбина радиально-осевого типа, максимальный напор 138 м, генератор — подвесной, частота вращения 450 мин⁻¹, частота сети 60 Гц, напряжение 13,8 кВ, количество гидроагрегатов — 3, подземное здание ГЭС, перед спиральными камерами установлены дисковые затворы.

¹ mikhailovm@mail.ru



Рис. 1. Дренажная вода из люка для осмотра напорного водовода поступает в машинный зал

При работе гидроагрегата был замечен интенсивный износ двух колец из композиционного материала “ФУТ” (антифрикционный углепластик) торцевых уплотнений валов гидротурбин. Проверка позволила выяснить следующее. Приём воды в напорный водоприёмник был выполнен непосредственно из реки с небольшим головным узлом (рис. 2). Вода из реки на изгибе под углом 90° к течению (рис. 3) проходила через сороудерживающие решётки, через проёмы для входных плоских затворов, попадала в отстойник (рассчитанный на задержку частиц размером более $0,3$ мм) периодического действия (рис. 4), состоящий из четырех камер, каждая из которых состояла из двух секций. Далее вода проходила через проёмы выходных плоских затворов и попадала непосредственно в напорный водоприёмник. Из водоприёмника вода направлялась в общий напорный водовод длиной более 6 км с разветвлением на конечном участке на три гидроагрегата. Из каждого входного патрубка дисковых затворов был выполнен водозабор в систему технического водоснабжения (ТВС), после которого вода проходила через “У”-образный сетчатый фильтр с ячейками 4 мм, далее через фильтр 300 мкм с автоматической промывкой, попадала в общий коллектор для трёх гидроагрегатов, из которого осуществлялся забор воды системы охлаждения гидрогенератора и гидротурбины, а также уплотнения вала гидротурбин. Вода в уплотнение вала поступала через две параллельные линии, оборудованные комбинированными циклонными фильтрами с сеткой 200 мкм и фильтрами тонкой очистки 25 мкм с автоматической промывкой, после чего подводилась в торцевое уплотнение вала гидротурбины. После обнаружения (с помощью



Рис. 2. Водозабор на речном стоке с наносами (слева сороудерживающие решетки на входе в отстойник)

стационарных электронного и механического датчиков) интенсивного износа углепластика уплотнения была взята проба дренажной воды из уплотнения вала на крышке гидротурбины. Анализ показал наличие частиц размерами $6,3 - 20$ мкм — $29,90$ % и частиц $20 - 63$ мкм — $61,60$ %. Изготовитель фильтров гарантировал надёжную работу фильтров с результативной промывкой при условии концентрации взвешенных частиц (до фильтров без органических загрязнений) в пределах $300 - 350$ мг/л (количество наносов в реке во время ливневых дождей в течение суток доходило до нескольких тысяч мг/л). В соответствии с рекомендациями проектировщика, при превышении расхода воды в реке более 120 м³/с и количества наносов более 580 мг/л гидроагрегаты ГЭС останавливали (после отстойника количество наносов составляло 183 мг/л). Однако при снижении расхода воды и количества наносов в реке до допустимой величины продолжался повышенный износ углепластиковых колец уплотнений валов гидротурбин. Это подтверждало наличие мелких твёрдых частиц в наносах, которые приводили к ускоренному абразивному износу. При снижении осадков и уменьшении расхода воды в реке с её осветлением — эффект интенсивного износа уплотнения исчезал, приблизившись к проектному значению, а именно 1 мм износа за 8000 ч работы. Это обстоятельство подтверждало работоспособность конструкции уплотнения вала и применённых материалов пары трения. Интенсивный износ был напрямую связан с наличием в наносах твёрдых частиц размером менее 25 мкм, о чём не было заявлено в технической спецификации Заказчика о характеристиках наносов в речной воде. Изготовитель гидротурбины обратил внимание Заказчика на необходимость срочного внедрения системы чистой воды для подачи в уплотнения валов гидротурбин, как обязательное условие длительной и надёжной работы этого важнейшего узла гидротурбины при длительной эксплуатации станции в периоды сезона дождей (до 6 -ти месяцев в году).



Рис. 3. Вид на верхний бьеф перед водозабором отстойника, сороудерживающие решетки, решеткоочистная машина и плоские затворы на входе в отстойник

Ситуация 3. Гидроагрегат мощностью 68 МВт, генератор — зонтичный, номинальное напряжение генератора 13,8 кВ, частота сети 60 Гц. В подземном машинном зале установлено 3 гидроагрегата с тремя блочными трёхфазными трансформаторами мощностью 80 МВА каждый, напряжением 13,8 кВ/230 кВ. Трансформатор имеет теплообменник в системе охлаждения с принудительной циркуляцией масла и охлаждающей воды. Масляные насосы системы охлаждения имели следующие характеристики: расход $80 \text{ м}^3/\text{ч}$, напор 7 м, мощность 3 кВт, напряжение 480 В, частота 60 Гц, номинальный ток 7,5 – 9 А, частота вращения 1100 мин^{-1} .

Перед монтажом циркуляционных масляных насосов системы охлаждения был произведен их осмотр. Несмотря на наличие сертификатов от завода-изготовителя, было выявлено несоответствие крыльчаток насосов (рис. 5, 6) требованиям качества. Заказчик потребовал от Подрядчика замену поставленных на проект масляных насосов. Изготовитель масляных насосов на основании контрактных условий и нахождения насосов на стройплощадке более двух лет, что соответствовало окончанию действия технической гарантии, отказался от безвозмездной поставки насосов за свой счёт. Подрядчик был вынужден повторно закупить масляные насосы с теми же характеристиками. При поступлении на проект новые циркуляционные масляные насосы имели заводские сертификаты качества, прошли входной контроль и полностью соответствовали требованиям технической спецификации Заказчика.

Эксплуатация оборудования

Ситуация 4. Гидроагрегат с максимальной мощностью гидротурбины 16,3 МВт, гидротурбина радиально-осевого типа, максимальный напор 138 м, генератор — подвесной, частота вращения 450 мин^{-1} , частота сети 60 Гц, напряжение 13,8 кВ, количество гидроагрегатов — 3, подземное здание ГЭС, общий напорный водовод с разветвлением на



Рис. 4. Отстойник с плоскими затворами на входе

три гидроагрегата, между спиральной камерой и напорным водоводом установлены дисковые затворы.

Специалистами технического сопровождения эксплуатации было замечено, что оперативный персонал ГЭС при каждой остановке гидроагрегатов вручную включает ремонтное уплотнение вала гидротурбины, а перед пуском — отключает. Данный режим работы ремонтного уплотнения не был предусмотрен проектировщиком гидротурбинного оборудования. В инструкции по эксплуатации гидротурбины было чётко указано, что ремонтное уплотнение приводится в действие сжатым воздухом (0,7 МПа) и используется только на остановленном гидроагрегате во время ремонта рабочего уплотнения вала гидротурбины. Ситуация с включением ремонтного уплотнения продолжала повторяться, поэтому Заказчику было направлено письменное уведомление о неправильном использовании ремонтного уплотнения вала гидротурбины, об ответственности за преждевременный выход из эксплуатации ремонтного уплотнения. Также Заказчик был предупрежден о длительной остановке гидроагрегата на период демонтажа рабочего уплотнения вала гидротурбины для замены ремонтного уплотнения. В основе данного заблуждения со стороны эксплуатационного персонала был человеческий фактор, недостаточное изучение инструкции по эксплуатации гидротурбины. Необходимо отметить, что ошибки в эксплуатации ремонтного уплотнения довольно распространены. Например, известны случаи, когда ремонтное уплотнение вала гидротурбины включали при вращающемся роторе гидроагрегата для проверки системы автоматики

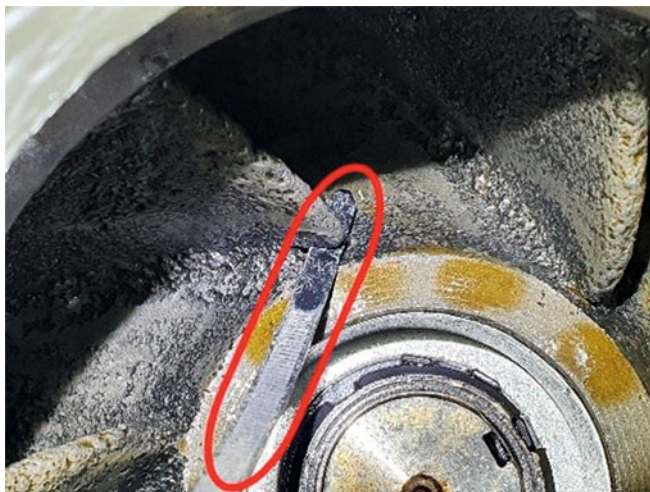


Рис. 5. Масляный циркуляционный насос с дефектами крыльчатки (зазор под входной кромкой лопасти) системы охлаждения масла блочного трансформатора



Рис. 6. Масляный циркуляционный насос с видимыми дефектами литья крыльчатки системы охлаждения масла блочного трансформатора

(запрет пуска гидроагрегата при включенном ремонтном уплотнении). Также известны случаи, когда из-за плохой координации при включенном ремонтном уплотнении поднимали ротор гидроагрегата на гидравлических тормозах, что также привело к повреждению ремонтного уплотнения вала гидротурбины. Необходимо иметь в виду, что повреждение ремонтного уплотнения вала гидротурбины наиболее часто происходит на вводимых ГЭС в период выполнения монтажных, пуско-наладочных работ и начального этапа эксплуатации.

Ситуация 5. В подземном здании первой ГЭС были использованы пофазно-изолированные токо-

проводы с RIP-изоляцией для передачи мощности от трёх гидроагрегатов по 16,3 МВт (общий расход воды при работе с номинальной нагрузкой трёх гидроагрегатов $40 \text{ м}^3/\text{с}$) к общей ячейке 13,8 кВ ЗРУ (закрытое распределительное устройство) в подземном здании ГЭС и далее через подземный туннель длиной 200 м на открытую электрическую подстанцию к ячейке 13,8 кВ ЗРУ, а оттуда до вводов низкого напряжения повышающего транс-



Рис. 7. Электрическая подстанция 230 кВ



Рис. 8. Следы трансформаторного масла под блочным трансформатором

форматора мощностью 60 МВА, напряжением 13,8 кВ/230 кВ. От электрической подстанции первой ГЭС электроэнергия по воздушной линии 230 кВ протяженностью около 8 км передавалась на электрическую подстанцию напряжением 230 кВ типа SF6 (элегазовая) второй ГЭС (3 гидроагрегата по 68 МВт, номинальный расход воды на



Рис. 9. Вводы 13,8 кВ блочного трансформатора 13,8/230 кВ, протечки трансформаторного масла из-за слабо обтянутых гаек вводов 13,8 кВ (указаны красными стрелками)



Рис. 10. Шахта гидротурбины со следами протечек турбинного масла из нижнего генераторного подшипника на бетоне

один гидроагрегат 33,33 м³/с) и далее в две двухцепные линии энергосистемы страны.

Во время обхода и осмотра оборудования электрической подстанции 230 кВ (рис. 7) инженер-электрик заметил следы трансформаторного масла на камнях под блочным трансформатором (рис. 8). Все контролируемые технические параметры трансформатора находились в проектных пределах. По указателю уровня, установленному на расширительном баке силового трансформатора, было зафиксировано незначительно снижение уровня масла в допустимых пределах. При запланированной остановке гидроагрегатов, после снятия напряжения с блочного трансформатора был произведен тщательный осмотр. Выяснилось, что источником протечек трансформаторного масла оказались вводы низкого напряжения 13,8 кВ, на которых были ослаблены гайки (M52) крепления ввода (рис. 9). Пришлось частично слить трансформаторное масло на участке между предварительно закрытым вентилем расширительного бака и до уровня ниже уплотнений фарфоровых изоляторов вводов 13,8 кВ. После корректировки положения изоляторов и уплотнений вводов 13,8 кВ была выполнена обтяжка гаек (рис. 9) моментом 70 Нм, указанным заводом-изготовителем блочного трансформатора. Помимо этого, в резьбовом соединении был использован Loctite 272 — резьбовой фиксатор высокой прочности, высокотемпературный (рабочая температура от -55 °С до +200 °С, диаметр резьбы до M80). Далее в трансформатор было долито подготовленное трансформаторное масло до проектного уровня. В дальнейшей эксплуатации повторных протечек трансформаторного масла из вводов 13,8 кВ не наблюдалось.

Необходимо отметить следующее обстоятельство. В соответствии с технической спецификацией Заказчика, в главной электрической схеме ГЭС был

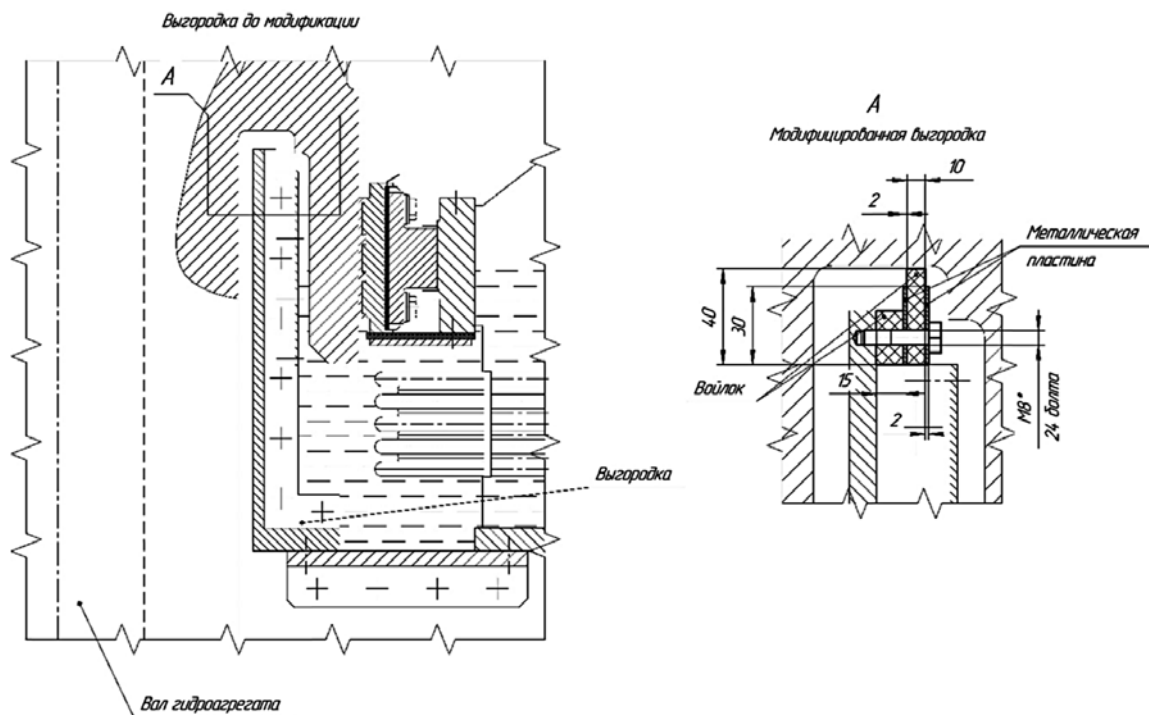


Рис. 11. Эскиз модернизации выгородки с применением войлока по предложению завода изготовителя-гидрогенератора

применён укрупнённый блок, то есть все три гидрогенератора ГЭС были подключены к одному повышающему трансформатору на электрической подстанции. При этом Заказчиком не был предусмотрен резервный трансформатор. В случае выхода из строя повышающего трансформатора прекратится выдача мощности трёх гидрогенераторов на длительный срок. При этом в данном проекте была применена такая схема водотока, что вода, прошедшая гидротурбины первой ГЭС, направлялась в напорный водовод к гидротурбинам второй ГЭС, совместно с забором воды из водохранилища второй ГЭС, расположенном на другой реке, что позволяло увеличить суммарный расход воды и соответственно выработку электроэнергии двух ГЭС. В случае выхода из строя трансформатора на электрической подстанции первой ГЭС, будет прекращена не только выработка электроэнергии на первой ГЭС, но и прекратится поступление расхода воды первой ГЭС в напорный водовод второй ГЭС, что приведёт к дополнительной потере в выработке электроэнергии. Необходимо также отметить, что при плотине второй ГЭС предусмотрена МиниГЭС, мощностью 1,4 МВт, энергия от которой по кабелям (13,8 кВ) передаётся на электрическую подстанцию первой ГЭС для поддержания работы всего комплекса вспомогательного оборудования, включая здание ГЭС.

Ситуация 6. Гидроагрегат с максимальной мощностью гидротурбины 16,3 МВт, гидротурбина радиально-осевого типа, максимальный напор 138 м, генератор — подвесной, частота вращения

450 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.

В процессе выполнения пуско-наладочных работ (ПНР) на гидроагрегате были замечены капли масла под перекрытием шахты турбины и подтёки масла на бетоне шахты турбины (рис. 10). Осмотр показал, что масло поступает на перекрытие шахты турбины через выгородку нижнего подшипника гидрогенератора. Искусственное снижение уровня масла в ванне в допустимых пределах не дало существенного эффекта, как и ревизия верхнего уп-



Рис. 12. Модернизированная выгородка масляной ванны нижнего генераторного подшипника



Рис. 13. Байпас в системе подачи воды к рабочему уплотнению вала гидротурбины

лотнения ванны подшипника с настройкой системы удаления паров масла. Особенностью конструкции гидрогенератора являлось расположение перекрытия шахты турбины ниже выгородки нижнего генераторного подшипника и при этом в нижней крестовине генератора отсутствовало перекрытие, что при работе гидрогенератора приводило к понижению давления под выгородкой ванны нижнего генераторного подшипника, что, в свою очередь, способствовало усилению конденсации паров над выгородкой и стеканию масла в виде капель по валу и по внешней поверхности выгородки. Такое же явление, но с меньшей интенсивностью, было замечено и на двух других гидроагрегатах. По предложению завода-изготовителя гидрогенератора (рис. 11) была выполнена модернизация выгородки масляной ванны нижнего генераторного подшипника (рис. 12). После ввода в работу гидроагрегата эффект замасливания металлического перекрытия и бетона шахты турбины прекратился.

Ситуация 7. Гидроагрегат с максимальной мощностью гидротурбины 16,3 МВт, гидротурбина радиально-осевого типа, максимальный напор 138 м, генератор — подвесной, частота вращения 450 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.

Регулятор расхода подачи воды в торцевое уплотнение вала гидротурбины часто включался в работу, изменяя расход от максимальных до минимальных значений. Разбираясь с причинами такого регулирования, выяснилось, что в системе самотечного (с ограничением давления воды у потребителя) технического водоснабжения происходили переходные процессы при включении и отключении гидроагрегатов. Также из-за того, что в водоприём-

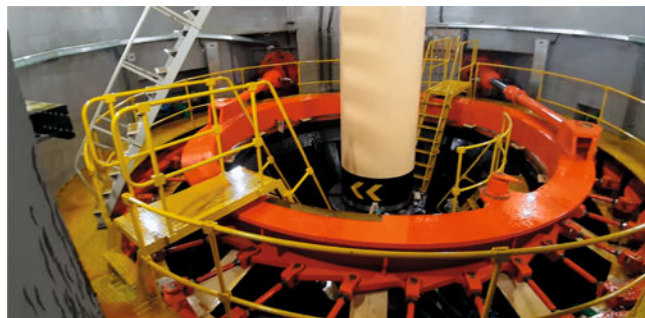


Рис. 14. Следы турбинного масла на оборудовании в шахте гидротурбины

ник ГЭС вода поступала непосредственно из реки без водохранилища, что, несмотря на отстойник, приводило к поступлению в напорный водовод значительного количества твёрдых наносов, которые, в свою очередь, нарушали работу фильтров, приводили к сбоям регуляторов давления системы ТВС. На последнем участке к уплотнению вала наносы нарушали работу циклонных фильтров и фильтров тонкой очистки, что незамедлительно сказывалось на работе регулятора расхода воды, установленного между фильтрами тонкой очистки 25 мкм и уплотнением вала турбины. Завод-изготовитель в качестве кардинального решения предложил Заказчику обеспечить подачу чистой воды к уплотнению вала гидротурбины. В качестве промежуточного решения завод-изготовитель гидротурбины рекомендовал установить байпас (настроить расход воды $2 \text{ м}^3/\text{с}$) параллельно с регулятором расхода. После установки байпаса (рис. 13) работа регулятора подачи проектного расхода воды ($3 - 3,8 \text{ м}^3/\text{с}$) на уплотнение вала полностью стабилизировалась, резкие колебания в работе регулятора исчезли.

Ситуация 8. На ГЭС, построенной в 1950 – 1959 годах, проводилась программа модернизации с увеличением установленной мощности, с заменой гидротурбин поворотно-лопастного типа на гидротурбины пропеллерного типа в связи с незначительным колебанием уровня воды в верхнем бьефе. В здании ГЭС было установлено 8 гидроагрегатов, в том числе 5 поворотно-лопастных гидротурбин мощностью по 82,8 МВт (расчётный напор 26 м, частота вращения 83,3 об/мин, диаметр рабочего колеса 7,2 м, гидрогенератор — зонтичный) и 3 модернизированные гидротурбины пропеллерного типа мощностью по 107,5 МВт (максимальный напор 32 м, расчетный напор 29 м, минимальный напор 26 м, частота вращения 88,24 об/мин, диаметр рабочего колеса 7,2 м, гидрогенератор — зонтичный).

Третий по счёту, прошедший модернизацию, гидроагрегат находился на этапе выполнения пуско-наладочных работ (ПНР) под нагрузкой. В соответствии с программой ПНР, гидроагрегат работал



Рис. 15. Дно нижнего генераторного подшипника со следами протечек турбинного масла

на холостом ходу около часа, затем его включили в сеть. Во время сопутствующего ПНР осмотра обнаружили, что все оборудование (рис. 14) в шахте гидротурбины забрызгано маслом (около ста литров). Гидроагрегат остановили, провели осмотр. Определили, что масло вылилось через выгородку (рис. 15) нижнего генераторного подшипника (НГП). Дальнейшая проверка выявила следующее. На крышке турбины поворотно-лопастных гидротурбин были установлены по два клапана срыва вакуума для впуска воздуха. За всё время эксплуатации не было замечено ни одного подобного случая выброса масла из НГП в шахту турбины (ШТ) при работе на холостом ходу, под нагрузкой и при сбросах нагрузки. Однако после замены гидротурбин на пропеллерные, помимо двух клапанов срыва вакуума на крышке турбины были установлены 4 клапана впуска воздуха для подачи воздуха как можно ближе к рабочему колесу, практически над входной кромкой лопастей (клапаны впуска воздуха были установлены в обтекатель крышки турбины). Помимо этого, ШТ первоначально была выполнена герметичной в качестве защиты от гидроудара, так как в нижнем бьефе здания ГЭС были установлены быстропадающие аварийно-ремонтные плоские затворы. На модернизированных гидроагрегатах была нарушена герметичность перекрытия нижней крестовины гидрогенератора за счёт того, что вместо 40 мм перекрытия нижней крестовины с уплотнением к валу было выполнено перекрытие толщиной 10 мм без уплотнения. При этом при работе пропеллерных турбин на холостом ходу и наборе нагрузки до 15 – 20 % от номинальной работали одновременно клапаны срыва вакуума и клапаны впуска воздуха. Ко всему вышечисленному, во время ПНР на данном гидроагрегате проходил обучение новый оперативный персонал, который закрыл герметичную дверь в ШТ. После пуска гидроагрегата на холостой ход включились в работу все 6 клапанов срыва вакуума и впуска воздуха, что привело к понижению давления в шахте турбины и, как следствие, выбросу масла из НГП. На предыдущих двух гидроагрегатах, прошедших модернизацию,

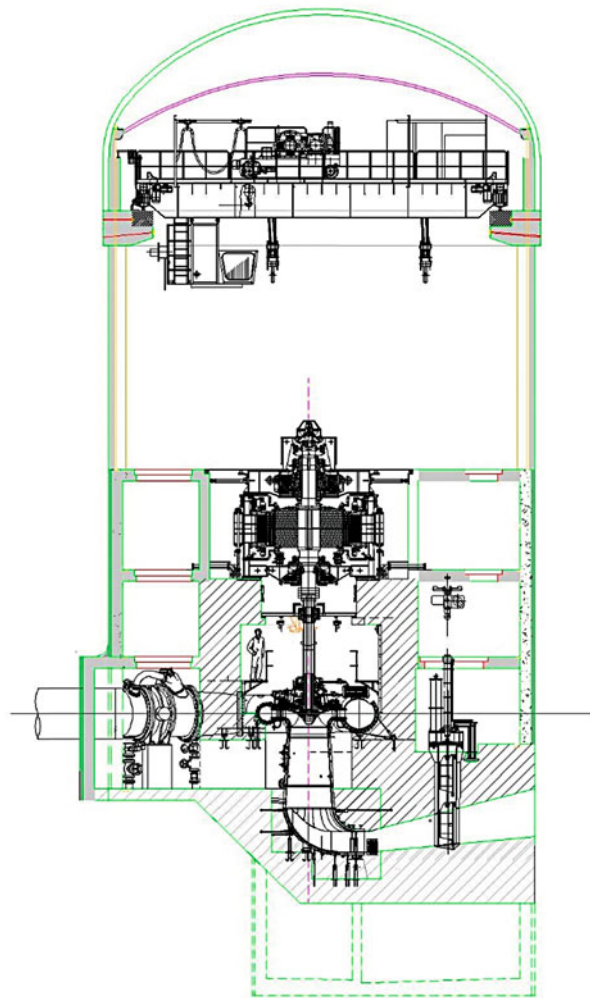


Рис. 16. Поперечный разрез здания ГЭС

опытный оперативный персонал предполагал возможность выброса масла, поэтому оставлял герметичную дверь в ШТ открытой, а это являлось нарушением местной инструкции по эксплуатации гидроагрегатов для поворотно-лопастных гидротурбин. Специалисты на ГЭС совместно с представителями заводов-изготовителей провели поиск решения возникшей проблемы. Вариант впуска воздуха из генератора через перекрытие нижней крестовины не поддержал завод-изготовитель гидрогенератора. Осталось одно практическое решение для всех модернизированных гидроагрегатов — оставлять открытой герметичную дверь в ШТ. Также Заказчиком планируется установка канатных механизмов быстрого спуска плоских затворов со стороны водоприёмника верхнего бьефа, чтобы исключить использование плоских затворов нижнего бьефа в качестве аварийно-ремонтных.

Ситуация 9. Гидроагрегат с максимальной мощностью гидротурбины 16,3 МВт, гидротурбина радиально-осевого типа, максимальный напор 138 м, генератор — подвесной, частота вращения 450 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. На выходе из отсасывающей трубы каждого гидроагрегата установлен один плоский затвор с гидроприводом (рис. 16). В продолжении отсасывающих труб трёх гидроагрегатов перпендикулярно расположена уравнивательная галерея.

Оперативный персонал трижды безуспешно пытался пустить гидроагрегат в автоматическом режиме на холостые обороты после окончания ежегодного ремонта длительностью семь дней. Гидроагрегат находился в эксплуатации более одного года. После начала открытия до величины 5 % дисковый затвор закрывался. Оперативный персонал решил разобраться в проблеме и обнаружил собственную грубейшую ошибку. Оказалось, что плоский затвор на выходе из отсасывающей трубы находился в опущенном на порог положении. Проверка показала, что к моменту пуска (на следующий день после окончания ежегодного ремонта) из-за дренажных протечек через уплотнение плоского затвора отсасывающей трубы проточная часть гидроагрегата была полностью заполнена. При включении байпаса происходило быстрое выравнивание давления до и после дискового затвора, что приводило к началу открытия дискового затвора. В то же время, в отсасывающей трубе резко возрастало давление (зафиксирован максимум 12,5 бар), которое приводило к негативному перепаду давления в рабочем (торцевого типа) уплотнении вала гидротурбины. Если в течение 20 с перепад давления не имел позитивное значение, то появлялся предупредительный сигнал о сбое в работе уплотнения, что в свою очередь отменяло готовность гидроагрегата к автоматическому пуску и приводило к закрытию дискового затвора. Внешний смотр гидроагрегата не выявил течей и явных повреждений. Оперативный персонал принял решение о подъёме плоского затвора на выходе из отсасывающей трубы. После подъёма плоского затвора отсасывающей трубы гидроагрегат был кратковременно пущен на холостые обороты без замечаний. На следующий день была выполнена более детальная проверка состояния оборудования с открытием люка в конусе отсасывающей трубы. Было выявлено повреждение с необходимостью замены одного манометра на конусе отсасывающей трубы и двух манометров, установленных на корпусе рабочего уплотнения вала гидротурбины. Были замечены повышенные протечки воды через уплотнение плоского затвора, не позволяющие выполнить полное осушение отсасывающей трубы для осмотра. В качестве технической помощи Заказчику было рекомендовано выполнить осмотр и ремонт уплотнения плоского за-

твора отсасывающей трубы после остановки трёх гидроагрегатов и осушения уравнивательной галереи. Проверить состояние клапана впуска воздуха под рабочее колесо гидротурбины (установленного на верхнем фланце вала гидрогенератора), выполнить осмотр состояния конуса с люком отсасывающей трубы, проточной части до и после конуса отсасывающей трубы, проверить задвижку осушения отсасывающей трубы, датчики давления, установленные в проточной части. Также усилить контроль за работой гидроагрегата в эксплуатации на предмет возможного проявления скрытых повреждений после произошедшего воздействия повышенного давления на проточную часть.

Выводы

1. При монтаже напорного водовода в траншее необходимо учитывать возможность его всплытия с аварийными последствиями. Смонтированный и прошедший гидравлическое испытание напорный водовод должен быть без задержек присыпан грунтом по проекту, либо заполнен водой, в качестве защиты от всплытия.

2. При отсутствии водохранилища, забора воды непосредственно из водотока, наличии наносов с мелкими частицами повышенной твёрдости в реке, Заказчикам необходимо чётко указывать в технической спецификации необходимость системы чистой воды для уплотнения вала гидротурбины. При этом, источник чистой воды должен предоставляться Заказчиком.

3. Трансформаторы с комплексом вспомогательного оборудования, поступающие на монтаж, независимо от наличия сертификатов от изготовителя подтверждающих качество, должны проходить входной контроль на проекте в присутствии представителя завода-изготовителя. При условии задержки исполнения контракта дольше срока действия технической гарантии, необходимо обеспечивать условия хранения оборудования, вызвать представителя завода-изготовителя до окончания срока технической гарантии для оценки состояния трансформатора со вспомогательным оборудованием, а также для возможной переконсервации в соответствии с инструкцией на хранение от завода-изготовителя.

4. Ремонтное уплотнение вала гидротурбины является одним из важнейших узлов, обеспечивающих надёжную работу гидроагрегата. Повреждение ремонтного уплотнения вала гидротурбины делает невозможным ремонт рабочего уплотнения без осушения проточной части. При аварийном повреждении рабочего уплотнения гидротурбины не будет возможности включить ремонтное уплотнение, чтобы избежать поступления воды из проточной

части в шахту гидротурбины, что может привести к серьезной аварийной ситуации.

5. В период пуско-наладочных работ и начального периода эксплуатации необходимо проводить внешние осмотры состояния трансформаторов со вспомогательным оборудованием для своевременного обнаружения и исправления скрытых дефектов. Заказчикам необходимо уделять особое внимание технико-экономическому обоснованию наличия или отсутствия в проекте резервного группового или блочного трансформатора для гарантированной выдачи располагаемой мощности в энергосистему.

6. При проектировании гидрогенераторов необходимо использовать проверенные или такие новые конструктивные решения по нижним генераторным подшипникам, которые исключают парение, конденсацию паров с проникновением масла со стороны выгородки нижнего генераторного подшипника в шахту гидротурбины.

7. При значительных колебаниях в работе регулятора подачи расхода воды на торцевое уплотнение вала гидротурбины одним из решений технической проблемы может быть установка байпаса параллельно регулятору расхода.

8. В инструкцию по эксплуатации оборудования ГЭС должны вноситься и утверждаться необходимые изменения с учётом опыта эксплуатации для обязательного исполнения эксплуатационным персоналом. В случае применения гидротурбин пропеллерного типа, включая модернизацию с заменой поворотных лопастных гидротурбин, с применением клапанов срыва вакуума и клапанов для впуска воздуха под крышку турбины и в проточную часть, необходимо выполнять расчёт или проводить модельные испытания для определения необходимого расхода воздуха и способа подачи.

9. В инструкциях по эксплуатации и техническому обслуживанию должно быть чётко указано состояние гидроагрегата, который передается от персонала по техническому обслуживанию оперативному персоналу, включая положение плоского затвора на выходе из отсасывающей трубы. С учётом обстоятельств (человеческий фактор) произошедшей аварийной ситуации с попытками пуска гидроагрегатов на холостой ход при опущенном плоском затворе на выходе из отсасывающей трубы Заказчику рекомендовано использовать сигналы положения плоских затворов в схеме разрешения на автоматический пуск гидроагрегатов.