

# Непредусмотренные ситуации в период пусконаладочных работ оборудования ГЭС

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

Представлена информация о технических ситуациях во время выполнения пусконаладочных работ технологического оборудования ГЭС.

**Ключевые слова:** напорный трубопровод, здание ГЭС, гидротурбина, дисковый затвор, гидроагрегаты, токопровод

## Unforeseen situations during commissioning of HPP equipment

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

Information on technical situations during the commissioning of technological equipment of HPPs is presented.

**Keywords:** pressure pipeline, hydroelectric power station building, hydraulic turbine, butterfly valve, hydraulic units, electrical conductor

### Заполнение водой водоподводящих и водоотводящих устройств, проверка и испытания оборудования на неподвижном гидроагрегате

**Ситуация 1.** К подземному зданию ГЭС с тремя гидроагрегатами вода подаётся от водоприёмника напорным водоводом с бетонной облицовкой длиной 6,5 км, диаметром 3,8 м, обеспечивая статический напор 135,5 м (рис. 1). На последнем, облицованном бетоном, наклонном участке напорного водовода расположена герметичная дверь для доступа с целью осмотра. На весь период строительства в напорном водоводе напротив герметичной двери строителями была сооружена перемычка из мешков с песком для перехватывания протечек из бетонной облицовки напорного водовода, откуда через дверь протечки отводились по строительному туннелю к выходу, далее в реку. К нижней, горизон-

тальной части водовода с металлической облицовкой присоединён вертикальный уравнительный резервуар диаметром в верхней части 12 м. Напорный водовод с металлической облицовкой разделяется на три напорных водовода, которые в подземном здании ГЭС соединялись с дисковыми затворами, установленными перед спиральными камерами гидротурбин. Все три напорных водовода перед дисковыми затворами имели трубы опорожнения (оборудованные решётками и задвижками), соединённые с коленами отсасывающих труб. При техническом обслуживании выполняется опорожнение напорного водовода до уровня нижнего бьефа, для дальнейшего опорожнения требуется опустить плоский затвор отсасывающей трубы и продолжить опорожнение напорного водовода с помощью насосов системы осушения. ГЭС расположена в районе с влажным тропическим климатом.

Попытка осушить напорный водовод в период пусконаладочных работ не удалась. Два насоса сис-

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

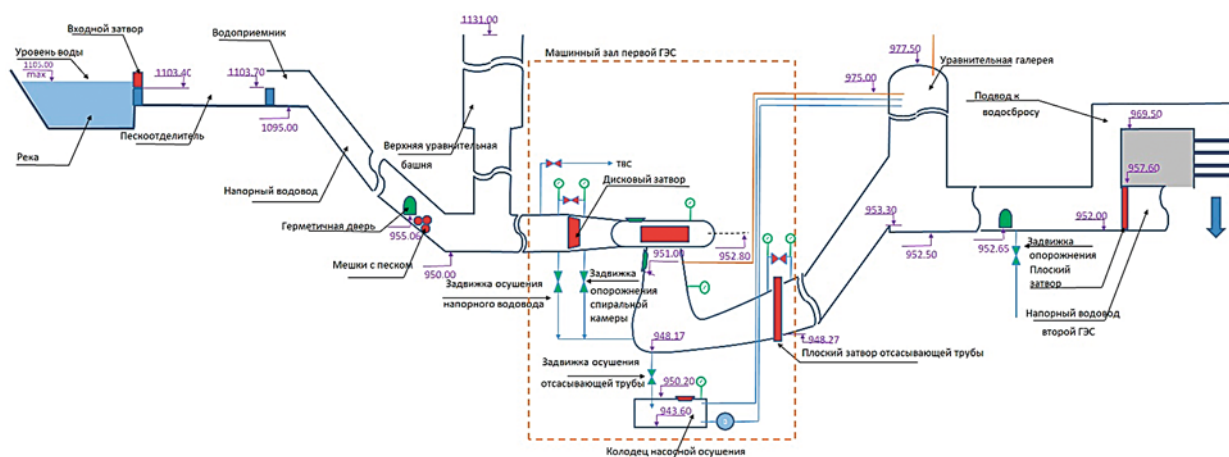


Рис. 1. Схема проточного тракта ГЭС



**Рис. 2.** Грань переходника подвода воды зацепилась и повисла на крышке уплотнения вала турбины

темы осушения не справлялись с расходом от протечек из напорного водовода, в результате чего уровень воды в водоводе начал расти. Пришлось вскрыть герметичную дверь, установить мешки с песком, чтобы отвести протечки из напорного водовода. После этого удалось осушить напорный водовод с помощью насосов системы осушения для осмотра и технического обслуживания оборудования.

#### **Пробный пуск гидроагрегата и его испытания на холостом ходу**

**Ситуация 2.** Гидротурбина расчётной мощностью 16,3 МВт, радиально-осевого типа, расчётный напор 133,5 м, уплотнение вала торцевого типа, пара трения состоит из двух колец композиционного материала марки ФУТ (антифрикционный углепластик) и кольца из бронзы, пружины изготовлены из специальной нержавеющей стали, что увеличивает срок службы, расход воды на уплотнение вала был принят в пределах 1,2 – 1,8 м<sup>3</sup>/ч, перепад давления между полостью уплотнения и камерой уплотнения не менее 0,3 бар, конструкция уплотнения допускает подъём ротора гидроагрегата до 15 мм, гидрогенератор подвесного типа, частота вращения 450 об/мин, в подземном машинном зале установлено три гидроагрегата, вода к зданию ГЭС подводится общим напорным водоводом.

Все три гидроагрегата успешно прошли пуск на холостые обороты. Расход воды и перепад давления уплотнения вала турбины контролировались расходомерами и датчиками давления. Продолжались испытания гидроагрегатов на холостом ходу. В какой-то момент только на одном гидроагрегате при сохранившемся расходе воды исчез перепад давления уплотнения вала. Увеличение давления на подаче воды и расхода не обеспечивали работу уплотнения вала, повторяя аварийные отключения. После тщательного осмотра корпуса уплотнения было обнаружено зависание гранёной части одного переходника (подачи воды в уплотнение) на крышке

корпуса уплотнения (рис. 2, 3). В результате кольца из материала ФУТ во втулке не касались вращающегося бронзового кольца, нарушив уплотнение торцевого типа между вращающимся валом и неподвижной крышкой гидротурбины.

После механической шлифовки граней всех переходников подачи воды к уплотнению вала, исключив зависание любого из них на крышке уплотнения, проектная работа торцевого уплотнения гидротурбины была полностью восстановлена.

**Ситуация 3.** Гидротурбина мощностью 16,3 МВт, частота вращения 450 об/мин, турбинный подшипник с баббитовыми сегментами.

После окончания пусконаладочных работ гидроагрегата на холостых оборотах, под нагрузкой, после успешного сброса нагрузок, гидроагрегат был остановлен, ротор генератора был поджат тормозами. Спустя месяц после останова, связанного с испытанием других гидроагрегатов и общестанционных вспомогательных систем, гидроагрегат готовили к пуску на холостой ход. Неожиданно был замечен недопустимо низкий уровень масла в ванне турбинного подшипника. Тщательный осмотр показал, что протечки масла во время простоя гидроагрегата были связаны с резиновой прокладкой визуального указателя уровня масла. Данная прокладка была выполнена не из маслбензостойкой резины, а заводские прокладки были утеряны ранее.

Для устранения замечания было слито масло из ванны до уровня, необходимого для замены прокладки. Также были проверены прокладки на двух других гидроагрегатах. По окончании работ в ванну было залито масло до номинального уровня. Дальнейшие пусконаладочные испытания продолжались без замечаний.

**Ситуация 4.** Гидротурбина мощностью 16,3 МВт, частота вращения 450 об/мин, подвесной гидрогенератор, три направляющих подшипника, два из которых установлены в гидрогенераторе и один в гидротурбине. Во время монтажа была выполнена проверка линии вала с удовлетворительными результатами. После пуска гидроагрегата под нагрузку появилось увеличивающееся биение вала турбины на уровне турбинного подшипника, на что указывали как бесконтактный датчик, так и показания индикатора часового типа. При этом на генераторе биение вала на уровне подшипников оставалось в допуске, хотя на уровне нижнего подшипника биение начало увеличиваться.

Гидроагрегат остановили и обнаружили односторонний нагрев вала в области уплотнения крышки турбинного подшипника (рис. 4). В качестве уплотнения был использован войлок, который является наилучшим материалом с точки зрения уплотнения и отсутствия нагрева вала турбины. Однако было обнаружено, что войлочное кольцо толщиной 10 мм имело косой срез для склеивания

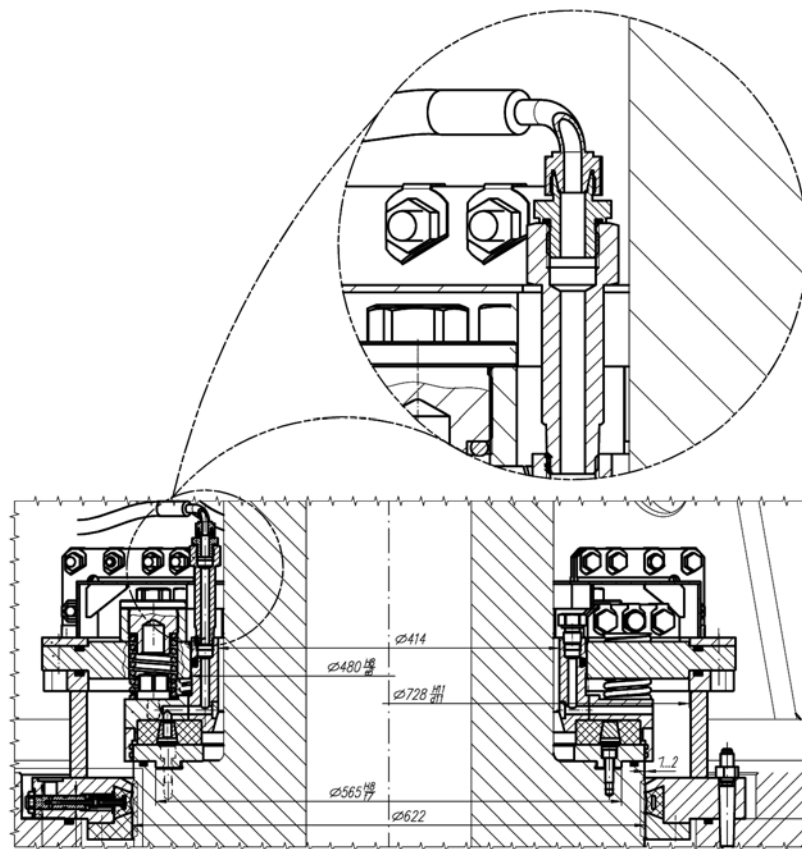


Рис. 3. Уплотнение вала турбины в сборе с фрагментом зависания переходника на крышке

на монтаже, которое после склеивания оказалось твёрдым, что привело к одностороннему нагреву вала турбины при вращении, а следовательно, к изгибу и повышенному биению. После того как жёсткий косой срез войлока подшлифовали, эффект нагрева исчез, испытания гидроагрегата продолжились без замечаний по биению вала гидротурбины.

**Ситуация 5.** Гидроагрегат мощностью 12,4 МВт, турбина поворотного-лопастного типа, расчётный напор 13,5 м, гидрогенератор зонтичного типа, частота вращения 166,7 об/мин, номинальное напряжение 10,5 кВ, в машинном зале установлено два гидроагрегата.

Гидроагрегат работал на холостых оборотах, выполнялась сушка обмотки гидрогенератора. Неожиданно происходили остановки гидроагрегата. Это явление наблюдалось в течение от двадцати минут и до нескольких часов после пуска гидроагрегата на холостые обороты. Выпадал сигнал “Авария. Клапан аварийного закрытия (КАЗ) направляющего аппарата (НА) сработал”. Была проведена последовательная замена катушки клапана, реле времени и тахометра с последующим пуском гидроагрегата. Авария продолжала повторяться. Проверка программистом выявила, что во время аварии производился одновременный запуск асинхронного двигателя маслонасосной установки (МНУ) гидротурбины и дренажных насосов на крышке турбины.

Дополнительная проверка показала, что при раздельном включении в работу МНУ и дренажных насосов остановка гидроагрегата не происходила. Было принято решение проверить всю цепь, связанную с работой КАЗа, при этом выявлено, что экран одного из двух кабелей, присоединённых к датчику частоты вращения вала, в результате ошибки монтажа оказался заземлён с двух сторон (ошибочно – со стороны датчика и по проекту — со стороны шкафа управления). При случайном совпадении по времени, при одновременном включении двигателя МНУ и дренажных насосов происходило индукционное воздействие силовых кабелей на проложенный рядом, заземлённый с двух сторон экран контрольного кабеля, от которого воздействие передавалось на сам кабель, далее на тахометр, который искажал величину частоты вращения в боль-

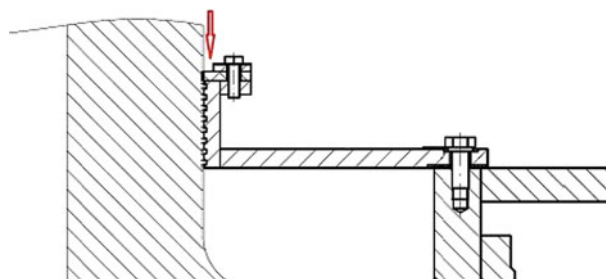


Рис. 4. Уплотнение крышки турбинного подшипника

шую сторону (более 140 %), в результате отключалось питание на катушку КАЗ, что приводило к срабатыванию, далее следовала остановка гидроагрегата. После размыкания заземления экрана контрольного кабеля со стороны датчика частоты вращения вала, установленного напротив зубчатого колеса на валу генератора, аномалия исчезла, гидроагрегат был пущен на холостые обороты и продолжал работать без аварийных остановок.

### Испытания гидроагрегата под нагрузкой

**Ситуация 6.** Гидротурбина расчётной мощностью 16,3 МВт, радиально-осевого типа, расчётный напор 133,5 м, диаметр рабочего колеса гидротурбины 1650 мм, количество лопастей рабочего колеса — 13, количество колонн статора гидротурбины — 20, гидрогенератор подвесного типа, частота вращения 450 об/мин, номинальное напряжение 13,8 кВ, в подземном машинном зале установлено три гидроагрегата, вода к зданию ГЭС подводится общим напорным водоводом.

Испытания на трёх гидроагрегатах подтвердили выполнение гарантированных значений мощности гидротурбин. На одном из трёх гидроагрегатов в процессе испытаний под нагрузкой с оценкой вибрационного состояния, определением пульсаций давления в проточной части и измерением мощности на выводах гидрогенератора появилось непонятное явление. На двух гидроагрегатах вибрации опорных узлов гидроагрегата находились на низком уровне во всём диапазоне нагрузок. На третьем гидроагрегате до мощности 14 МВт также не наблюдалось проблем, но при дальнейшем повышении мощности появлялись сильные вертикальные вибрации подпятника и крышки турбины частотой 5 Гц и двойной амплитудой до 100 мкм. Кроме того, регистрировались значительные пульсации давления с частотой 5 Гц во всей проточной части от спиральной камеры до отсасывающей трубы.

Исходя из вышеизложенного, можно было предположить, что в проточной части имеется дефект монтажа либо изготовления. Для этого было необходимо осушить проточную часть и провести обследование участка напорного водовода к гидроагрегату, спиральной камеры, направляющего аппарата, рабочего колеса и отсасывающей трубы.

На основе полученной информации поставщиком гидротурбины были сделаны следующие выводы:

Причина повышенных вибраций и пульсаций кроется не в гидравлическом профиле, так как проблема присутствует только на одном гидроагрегате из трёх. Также судя по заводским протоколам контроля, геометрические отклонения между рабочими колёсами минимальны.

Исходя из монтажных формуляров измерения в свету между лопатками, не было обнаружено суще-

ственной разницы в направляющих аппаратах всех трёх гидроагрегатов.

Проблема носила “плавающий” характер. Во-первых, вибрации начинали проявляться не сразу после выхода на режим, а с некоторой задержкой по времени (1 – 2 минуты). Во-вторых, проблема проявлялась на разных мощностях. В отдельном случае вибрации появлялись на мощности 16 МВт, а через несколько дней такие же вибрации появились уже при мощности 14,5 МВт. То есть что-то менялось в процессе работы гидроагрегата.

Поставщиком гидротурбины были предложены несколько версий:

а) некорректное высотное положение рабочего колеса относительно направляющего аппарата. Подобный случай упоминается в книге Л. А. Владиславлева “Вибрация гидроагрегатов гидроэлектрических станций” (Высотное положение колеса радиально-осевой турбины);

б) пульсации давления в столбе воды, который заключён в нержавеющей трубе внутри вала гидроагрегата, через которую подаётся атмосферный воздух. Проверить данную версию можно, “зажав” клапан впуска воздуха, и опробовать работу гидроагрегата. После дополнительного испытания данная версия была исключена;

в) вибрации вызваны автоколебаниями в водоводе и в этом случае стоит попробовать изменить скорости течения в водоводе, пустив одновременно два гидроагрегата в работу. После дополнительного испытания данная версия была исключена;

г) заиливание проточной части как со стороны спирали, так и со стороны отсасывающей трубы. Версия маловероятная и проверить её можно, только осушив проточную часть.

При запланированном осушении проточного тракта для технического осмотра строительной части, уплотнений дисковых затворов и уплотнений валов гидротурбин, также был произведён осмотр проточной части проблемного гидроагрегата. Выяснилось, что нижний обод рабочего колеса гидротурбины находился на 1,5 мм ниже плоскости нижнего кольца направляющего аппарата. Соответственно, ступица рабочего колеса выступала в проточную часть относительно крышки турбины. Кроме этого, необходимо учесть, что во время работы рабочее колесо опускается ещё на 1 – 2 мм, частично из-за прогиба верхней крестовины от осевого гидравлического усилия и, в основном, из-за температурного удлинения вала гидроагрегата при нагреве в процессе работы под нагрузкой, особенно с учётом подвесного типа гидрогенератора.

Высота направляющего аппарата составляет 232 мм, высота входного сечения рабочего колеса составляет 234 мм, таким образом, во время работы нижний обод рабочего колеса должен быть ниже кольца нижнего направляющего аппарата на 1 мм.

В соответствии с указанием поставщика гидротурбины, рабочее колесо гидроагрегата было поднято на 1,5 мм.

После пуска гидроагрегата в работу и набора мощности до номинальной 15,6 МВт, штатной системой вибрационного контроля было подтверждено изменение значений вибраций до допускаемых величин.

**Ситуация 7.** Отводящий тракт от подземного здания ГЭС представлял собой короткие наклонные туннели от трёх отсасывающих труб с плоскими затворами с герметичными крышками, далее вода поступала в общую для трёх гидроагрегатов уравнительную галерею высотой 25 м, затем вода проходила в напорном туннеле и поднималась до порога нерегулируемого поверхностного ступенчатого водосброса на отметку 969,50 (рис. 1). Пусконаладочные работы (ПНР) на трёх гидроагрегатах прошли успешно, как на холостом ходу, так и под нагрузкой. Однако при включении трёх гидроагрегатов под номинальную нагрузку 13,5 МВт, неожиданно на монтажную площадку подземного здания ГЭС полилась вода.

Проверка показала, что в соответствии с проектом, подземный машинный зал и уравнительная галерея имели туннельное сообщение с герметичной перегородкой, через которую в уравнительную галерею были выведены напорные трубы системы осушения, дренажа, три аэрационные трубы из отсасывающих труб и одна аэрационная труба из герметичного колодца системы осушения. Место прохода труб из туннеля в уравнительную галерею (на 4,5 м выше порога поверхностного водосброса) должно было быть по проекту загерметизировано бетоном, однако этого не было сделано. При работе трёх гидроагрегатов (расход воды около 40 м<sup>3</sup>/с) вода в уравнительной галерее поднялась более чем на 5 м, достигла уровня прохода труб сквозь герметичную стенку и начала стекать в туннельный проход, откуда стала сливаться в машинный зал подземного здания ГЭС. Гидроагрегаты были остановлены, герметичная стенка в месте прохода труб должным образом загерметизирована. После набора прочности бетона пусконаладочные работы были продолжены без замечаний по этому вопросу.

**Ситуация 8.** Гидроагрегат мощностью 16,3 МВт был оборудован дисковым затвором диаметром 2,4 м перед входом в спиральную камеру. ГЭС расположена в районе с влажным тропическим климатом.

При проведении пусконаладочных работ под нагрузкой дисковый затвор аварийно закрылся. Проверка показала, что команда на закрытие поступила из панели управления дисковым затвором, а именно от программно-логического комплекса (PLC), чему способствовало несколько причин. Оказалось, что были забиты пылью фильтры пода-

чи и отвода воздуха; были вплотную расположены источник питания (источник нагрева) и PLC; в машинном зале работала временная система вентиляции. В результате из-за повышенной температуры в панели (до 50 °С) произошёл отказ в работе PLC.

Для устранения возникшей проблемы в панели управления дисковым затвором были максимально раздвинуты источник питания и PLC, заменены губчатые фильтры подачи охлаждающего воздуха от вентилятора и отвода тёплого воздуха; в отвод воздуха из панели установили вентилятор; выполнили настройку равномерной подачи воздуха от временной системы вентиляции.

**Ситуация 9.** Электрическая подстанция с открытым распределительным устройством 230 кВ (ОРУ) и закрытым распределительным устройством 13,8 кВ (ЗРУ), с одним повышающим трансформатором 13,8 кВ/230 кВ, мощностью 60 МВА получает электроэнергию от трёх гидроагрегатов общей мощностью 49 МВт, установленных в подземном машинном зале. Электроэнергия подаётся от общей для трёх гидроагрегатов ячейки напряжением 13,8 кВ, расположенной в машинном зале здания ГЭС, посредством одной группы из трёх пофазно-изолированных токопроводов с RIP-изоляцией (представляет собой твёрдый изоляционный материал, изготовленный намоткой на алюминиевый сердечник высушенной в вакууме крепированной бумаги, пропитанной эпоксидной смолой) и прохождением участка 200 м по подземному туннелю и 30 м в канале с бетонными крышками до ячейки 13,8 кВ на ЗРУ. Степень защиты токопроводов IP67 (6 — защита от пыли, 7 — защита при погружении в воду). Для сооружения электрической подстанции строителями был подрезан склон горы, построены дренажные каналы по периметру, нижняя часть склона напротив трансформатора, выключателей и разъединителей была укреплена анкерами и поверхностным бетонированием с установкой дренажных трубок. Электрическая подстанция расположена в районе с влажным тропическим климатом.

Во время сильного ливня произошёл селевой оползень, впервые с момента начала сооружения подстанции. В течение нескольких минут канал с токопроводами под напряжением 13,8 кВ оказался заполнен жидкой грязью и камнями, которые сползли с горы и попали в канал через дверной проём выходного оголовка подземного туннеля с токопроводами при выходе на подстанцию (рис. 5).

К счастью, защита токопроводов устояла, короткого замыкания не произошло, что могло привести к ремонтным работам и простоем в выработке электроэнергии.

Для устранения возникшей проблемы с токопроводами было снято напряжение, вскрыт лоток, проведена деликатная чистка токопроводов и лотка

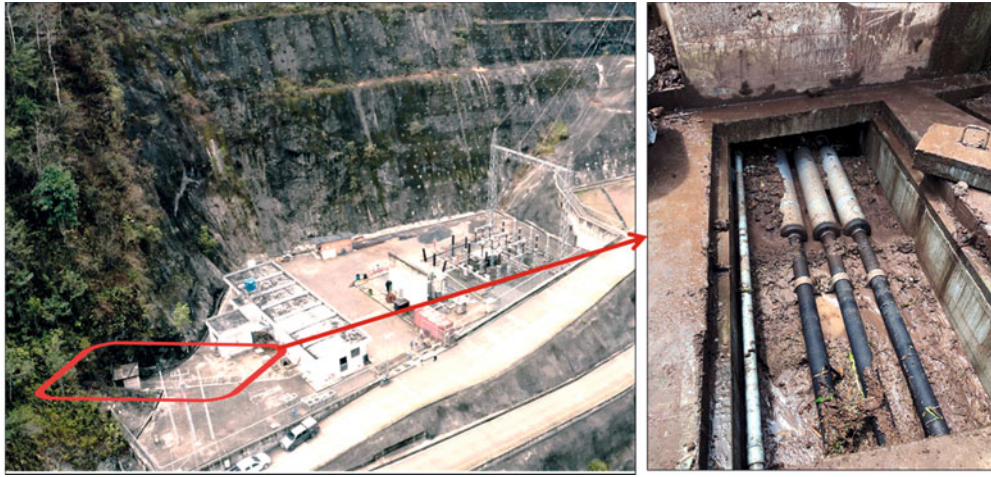


Рис. 5. Электрическая подстанция у склона горы. Канал с шинами заполнен грязевым потоком

на всю длину, выполнено высоковольтное испытание и продолжена эксплуатация. Проектная строительная организация приступила к проектированию дополнительной защиты электрической подстанции.

**Ситуация 10.** Гидроэнергетический проект состоял из трёх ГЭС: первой подземной, с установленной мощностью 49 МВт (три гидроагрегата), второй подземной ГЭС, с установленной мощностью 204 МВт (три гидроагрегата) и мини-ГЭС с установленной мощностью 1,4 МВт (один гидроагрегат) для пропуска санитарных расходов воды в нижний бьеф и далее в русло реки.

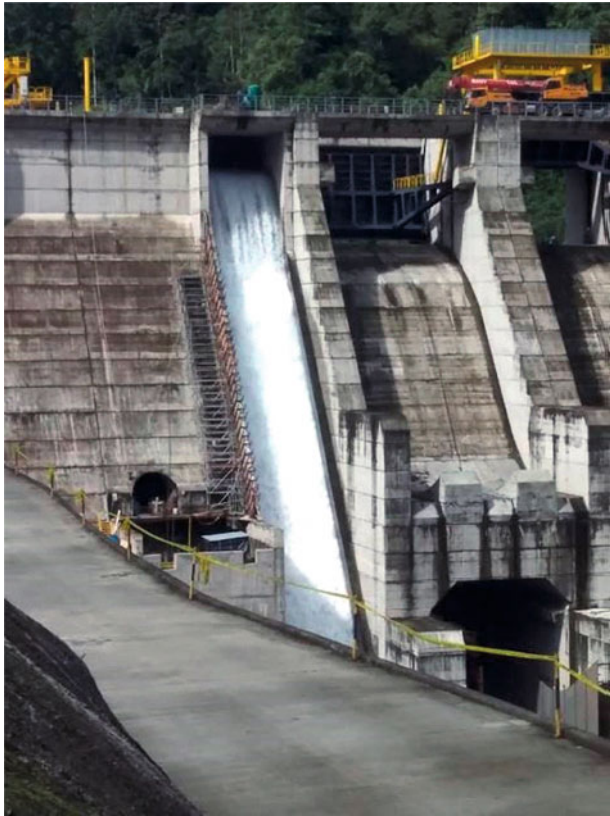
Вода от подземного здания первой ГЭС, соответственно от трёх гидроагрегатов после отсасывающих труб отводилась через уравнительную галерею и туннель, затем по условию антикавитационной защиты рабочих колёс гидротурбин поднималась до порога нерегулируемого поверхностного ступенчатого водосброса плотины второй ГЭС и далее после падения попадала в нижний бьеф (рис. 1). Одна из стенок канала поверхностного ступенчатого водосброса являлась боковой стенкой машинного зала мини-ГЭС с водозабором в плотине второй ГЭС.

При пуске под нагрузку первого из трёх гидроагрегатов в подземном машинном зале первой ГЭС, когда расход воды составил около  $13 \text{ м}^3/\text{с}$ , начался незначительный перелив воды через стенку поверхностного ступенчатого водосброса, попадая в машинный зал мини-ГЭС, который к этому моменту был обустроен мостовым краном, введённым в эксплуатацию. После поочередного пуска под нагрузку всех гидроагрегатов предстояло испытание с одновременной работой под нагрузкой трёх гидроагрегатов, в этом случае общий расход воды составил бы около  $40 \text{ м}^3/\text{с}$ , что могло привести к затоплению строящегося здания мини-ГЭС. Было принято оперативное решение о наращивании боковой стенки поверхностного ступенчатого водосброса на 1,5 м.

Строители достроили стенку (рис. 6, 7), что позволило без ограничений по расходу воды эксплуатировать три гидроагрегата первой подземной ГЭС без какого-либо ущерба для мини-ГЭС и нижнего бьефа плотины в целом.

**Ситуация 11.** На ГЭС были использованы пофазно-изолированные токопроводы с RIP-изоляцией, для передачи мощности от трёх гидроагрегатов по 16,3 МВт к общей ячейке 13,8 кВ ЗРУ (закрытое распределительное устройство) в подземном здании ГЭС и далее через подземный туннель длиной 200 м на электрическую подстанцию к ячейке 13,8 кВ ЗРУ, а оттуда до вводов низкого напряжения повышающего трансформатора мощностью 60 МВА, напряжением 13,8 кВ/230 кВ. От электрической подстанции первой ГЭС электроэнергия по воздушной линии 230 кВ передавалась на электрическую подстанцию напряжением 230 кВ типа SF6 (элегазовая) второй ГЭС и далее в энергосистему страны. После окончания монтажа токопроводов с высоковольтными испытаниями напряжением постоянного тока 23 кВ (токопроводы хранились в металлическом контейнере 4 года на открытом складе, поэтому завод-изготовитель токопроводов рекомендовал испытание напряжением постоянного тока 23 кВ, а не 25 кВ, как для новых) токопроводы были поставлены под рабочее напряжение 13,8 кВ.

В процессе пусконаладочных работ произошёл пробой изоляции на одной фазе токопровода на участке между ячейками 13,8 кВ ЗРУ в подземном машинном зале и ячейкой 13,8 кВ ЗРУ электрической подстанции. Для поиска места пробоя токопровод был разъединён на середине длины. Проверка сопротивления изоляции с помощью мегомметра с напряжением 5 кВ подтвердил пробой в одной стороне, а в другой – кратковременное падение напряжения. При выполнении высоковольтного испытания с помощью установки HiPot, запитанной от ближайшей электрической сборки строительной



**Рис. 6.** Нарращивание боковой стенки поверхностного ступенчатого водосброса со стороны мини-ГЭС

го периода переменным напряжением 120 В, с левой стороны произошёл пробой изоляции при напряжении 20 кВ, а справа также произошёл пробой (как оказалось впоследствии, кажущийся) с отключением высоковольтной установки. В левой стороне был обнаружен участок токопровода с повреждением изоляции, а в правой стороне была замечена связь между отключением высоковольтной установки при проведении испытаний и началом работы строителей, которые периодически включали в соседнем строительном туннеле электрический отбойный молоток, подключенный к той же электрической сборке, что и высоковольтная установка. Отключение электрического молотка на период высоковольтных испытаний позволило выполнить высоковольтные испытания токопровода без замечаний. По просьбе заказчика повторили испытание и включили электрический молоток, высоковольтная установка при ступенчатом повышении испытательного напряжения отключилась от защиты минимального напряжения высоковольтной установки. После замены повреждённого участка токопровода (имелся уже не первый пробой изоляции без видимых причин (рис. 8), что отнесли на условия хранения, как единственному объективному факту, к тому же закончился срок двухгодичной технической гарантии на токопроводы) и запрету проведения строительных работ (электрические сборки в условиях строительства распределены по



**Рис. 7.** Поверхностный ступенчатый водосброс и здание мини-ГЭС

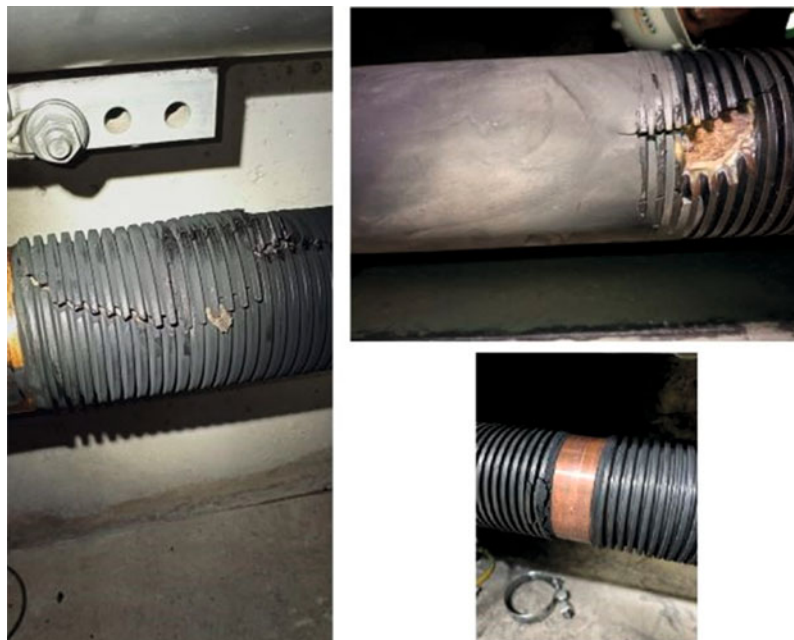
объектам без резервирования), высоковольтные испытания были выполнены без замечаний, возникшая проблема была решена.

## Выводы

1. В технической литературе отсутствуют нормы на дренажные протечки через бетонные облицовки напорных водоводов, поэтому необходимо организовывать качественное выполнение строительных работ, предусматривать не только герметичную дверь в нижней части длинного напорного водовода, но и специальное мобильное механическое приспособление для быстрой установки и перехватывания дренажных протечек внутри водовода напротив герметичной двери, а также проектный отвод дренажной воды из строительного туннеля.

2. Конструкция уплотнения вала гидротурбины должна исключать возможность зависания подвижной втулки уплотнения, чтобы не нарушить герметичность подвижного соединения вал — крышка гидротурбины. При отсутствии перепада давления в торцевом уплотнении вала гидротурбины необходимо проверить возможное зависание подвижной втулки уплотнения по какой-либо причине.

3. В процессе выполнения пусконаладочных работ уровни масла в ваннах подшипников и подпятников должны контролироваться в автоматическом режиме с помощью датчиков уровня либо перед каждым пуском уровень масла должен проверяться визуально. При необходимости замены прокладочного материала завода-поставщика, к закупаемому



**Рис. 8.** Внешний вид нескольких повреждений токопроводов с RIP-изоляцией, возникших в процессе высоковольтных испытаний

материалу должны предъявляться проектные технические требования.

4. При монтаже гидроагрегата необходимо уделять особое внимание уплотнениям ванн подшипников, как источнику возможного одностороннего нагрева вала гидроагрегата, что может привести к недопустимо повышенному биению.

5. При прокладке контрольных экранированных кабелей необходимо проверять соответствие проекту заземления экрана в одной или двух точках. Контрольные и силовые кабели должны монтироваться в разных кабельных лотках. Допускается прокладка контрольных и силовых кабелей в одном лотке, в этом случае они должны быть разделены металлической перегородкой и уложены с двух сторон на допустимых расстояниях до перегородки.

6. При работе с номинальной нагрузкой рабочее колесо радиально-осевой гидротурбины должно занимать симметричное положение относительно направляющего аппарата. Таким образом, рабочее колесо гидротурбины после монтажа должно занимать асимметричное положение относительно направляющего аппарата, чтобы в процессе работы гидроагрегата положение становилось симметричным. Это обстоятельство должно учитываться при монтаже рабочих колёс, особенно при подвесном типе гидрогенераторов.

В инструкции на монтаж гидротурбины должна предусматриваться проверка высшего положения радиально-осевого рабочего колеса, учитывающая, по возможности, осевое гидравлическое усилие и температурное удлинение вала гидроагрегата.

7. Проточный тракт должен быть осмотрен перед заполнением водой, особенно те места, откуда может произойти затопление. Наблюдение за проточным трактом должно выполняться не только при первоначальном заполнении водой, но и при увеличении расхода воды при работе под номинальной или максимальной нагрузкой всех гидроагрегатов в соответствии с проектом.

8. При выполнении пусконаладочных работ необходимо выполнять техническое обслуживание оборудования, в том числе замену фильтров системы воздушного охлаждения панелей, обращать внимание на температуру внутри панелей, особенно при отсутствии постоянной системы вентиляции.

9. При проектировании электрических подстанций необходимо предусматривать комплексную защиту оборудования подстанции от ливней и оползней, если такая опасность существует.

10. При проектировании поверхностных водосбросов необходимо выполнять моделирование гидравлического профиля, а также учитывать возможное негативное влияние потока воды на расположенные рядом объекты.

11. Необходимо строго соблюдать требования изготовителя к условиям хранения и монтажа токопроводов с RIP-изоляцией. При проведении высоковольтных испытаний токопроводов необходимо отключать все электрические установки, запитанные от той же электрической сборки, от которой запитана высоковольтная установка.