

СИМФОНИЯ КАТАСТРОФ



17 августа 2009 года произошла разрушительная авария на Саяно-Шушенской ГЭС. В «Акте технического расследования причин аварии» основной причиной было названо «многократное возникновение дополнительных нагрузок переменного характера на гидроагрегат». Что это за дополнительные нагрузки и каков их источник, установлено не было.

Сразу после трагедии на станцию отправились специалисты СО РАН. Первое предположение относительно причин аварии заключалось в том, что это был гидроудар, который и выбил турбину. Геофизики предложили воспользоваться данными находящейся рядом сейсмической станции Геофизической службы СО РАН «Черемушки». Расшифровка записей показала, что гидроудара не было, но за 2,7 секунды до начала аварии были небольшие по амплитуде колебания, пришедшие с ГЭС. В процессе расследования причин аварии выяснилось, что приход первого импульса совпал по времени с моментом отрыва первых гаек на крышке гидроагрегата. Через 2,7 секунды после этого крышка оторвалась.

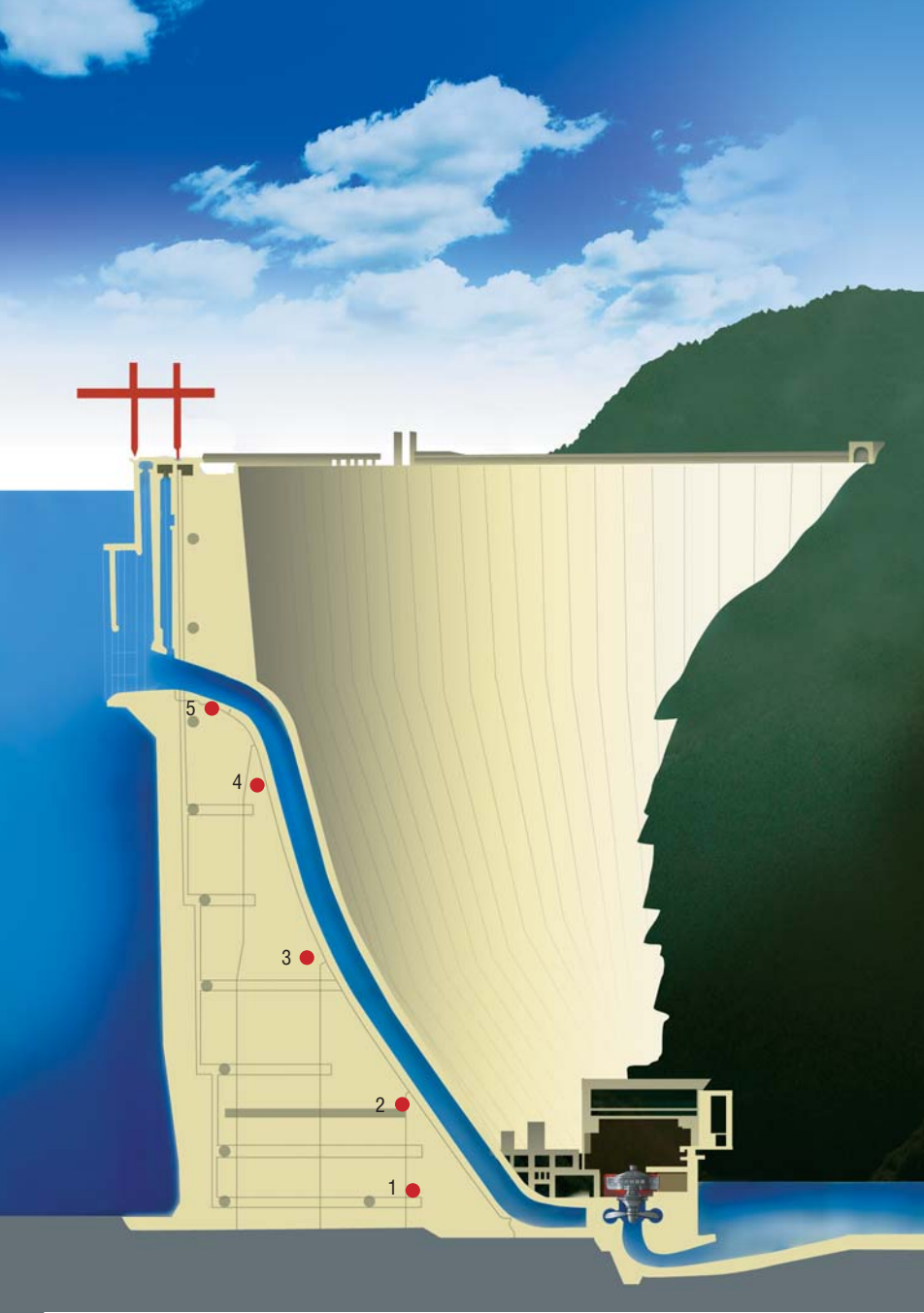
В дальнейшем, анализируя события, произошедшие на ГЭС, геофизики поняли, что система наблюдения за такого рода объектами устроена неправильно. В настоящее время вокруг агрегатов сосредоточено достаточно большое количество датчиков, которые измеряют или смещение, или производные от смещения агрегатов и фиксируют максимальное изменение за определенный интервал времени.

Гидроагрегат – это сложная колебательная система со многими источниками. Среди таких источников могут быть и лопасти турбины, которые колеблются при попадании на них потока воды; и направляющие лопатки, которые изменяют поток, идущий на турбину; и жгут, возникающий в воронке при вращении воды в турбине. Могут быть и другие источники, число которых еще надо умножить на количество агрегатов.

Наблюдать с помощью таких датчиков за работой агрегатов – то же самое, что записывать игру симфонического оркестра не микрофоном, а шумомером.

Ключевые слова: гидростанция, авария, Саяно-Шушенская ГЭС, техническая диагностика

Key words: hydroelectric power station, break-down, Sayano-Shushenskaya hydroelectric power station, technical diagnostics



При проведении испытаний шестого гидроагрегата в теле плотины Саяно-Шушенской ГЭС было установлено 12 комплектов сейсмической аппаратуры. Анализируя сейсмическую запись, можно контролировать работу гидроагрегатов с помощью технологии, предложенной сибирскими учеными

Оркестр издает множество различных по частоте и интенсивности колебаний. Хороший музыкант может, прослушав фрагмент исполняемого оркестром произведения, записать, что было исполнено и на каком инструменте. Каждый инструмент звучит на своей частоте, а общая картина звучания записывается нотами.

Подобный образ легко переводится на язык физики: производится спектральный анализ вибраций, выделяются отдельные «ноты» (частоты) для последующего анализа. По записи сейсмических колебаний, проведя спектральный анализ и выделив различные источники колебаний, можно восстановить, какой источник сейсмических ко-

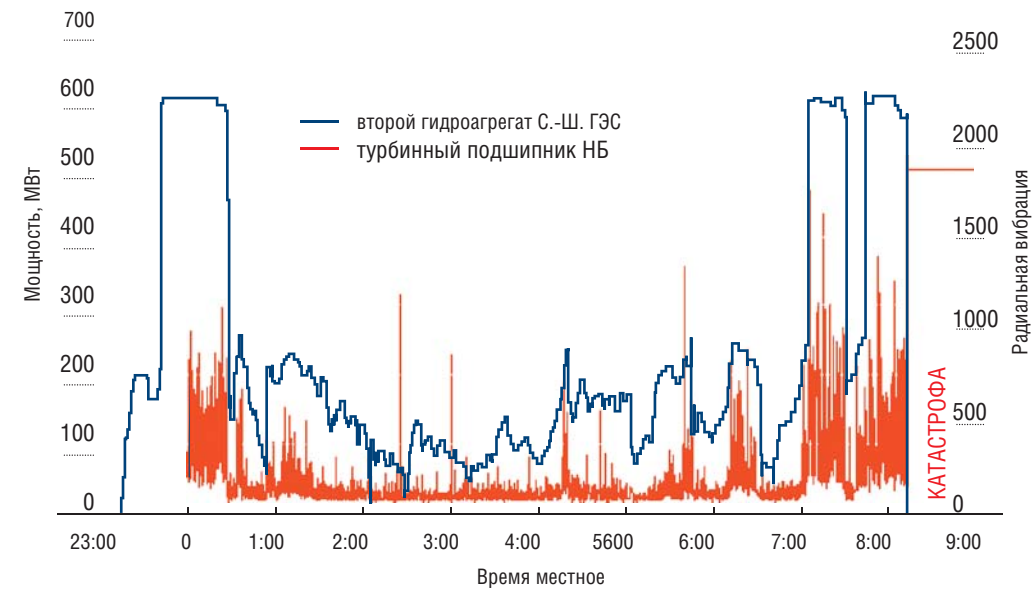
лебаний, на какой частоте, с какой интенсивностью, с какой характеристикой направленности и как долго работал.

И хотя эти колебания находятся не в звуковом диапазоне, они имеют тот же вид, что и звуковые, т.е. их можно разложить по частотам и проанализировать различные спектральные составляющие. Специалисты Геофизической службы СО РАН удалось разработать технологию, с помощью которой по сейсмической записи можно проанализировать различные режимы работы гидроагрегатов, контролировать их работу и создать систему типа «черного ящика».

Когда на Саяно-Шушенской ГЭС после аварии стали запускать шестой гидроагрегат, геофизики установили в машинном зале и в теле плотины двенадцать сейсмостанций и изучили, что излучает гидроагрегат при различных режимах работы. На сейсмостанции «Черемушки» также были получены записи сейсмических колебаний в период испытаний шестого гидроагрегата. Эта серия испытаний позволила более надежно расшифровать запись, полученную на сейсмостанции до и в момент аварии.

Нужно заметить, что еще при строительстве Саяно-Шушенской ГЭС, во время ввода турбин в эксплуатацию выяснилось, что вывести их на планируемый режим (более 700 МВт) невозможно. На малой мощности колебаний практически не было, но при увеличении мощности начиналась сильная вибрация. Потом она уменьшалась, и на мощности около 500 МВт станция начинала работать нормально. При увеличении мощности свыше 600 МВт вибрация быстро нарастала, и было принято решение не эксплуатировать турбины на этих режимах. Природа такого поведения агрегатов до сих пор непонятна.

Новый метод позволяет надеяться на то, что с его помощью ученые сумеют установить причину сильных



На графике отчетливо видно, что за несколько часов до аварии на ГЭС изменение мощности гидроагрегата сопровождалось изменением уровня вибрации турбинного подшипника. Данные 17 августа 2009 г.

колебаний - если разложить колебания по источникам, то можно определить их силу и понять причину возникновения. В настоящее время специалисты научились «слушать» низкочастотные колебания работающего гидроагрегата.

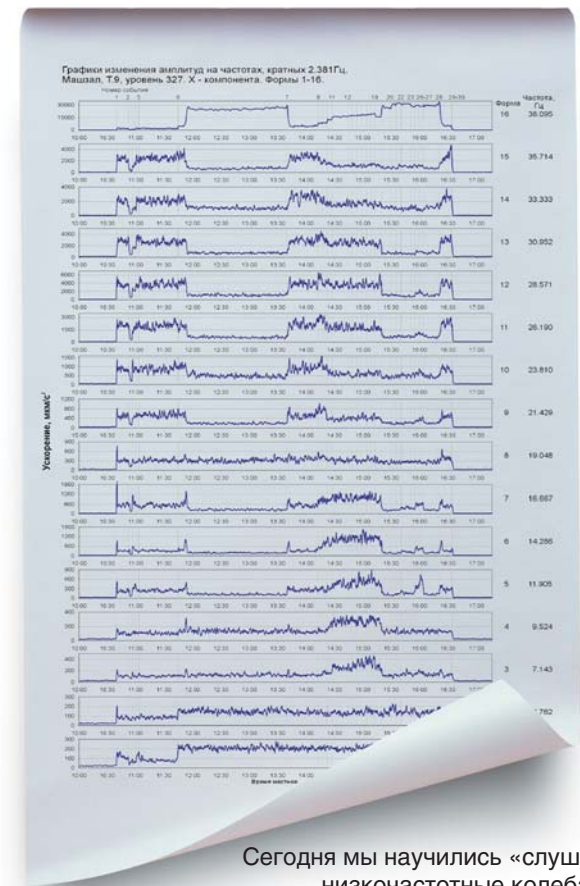
Какой вывод следует сделать из произошедшего на станции? Есть два пути решения проблемы. Первый путь – постоянный контроль. Если вибрация превышает определенные значения, работу механизмов нужно останавливать и разбираться в причинах. Второй путь – провести исследования и выяснить, почему происходят подобные вибрации и как их можно устранить. Предложенная технология в принципе позволяет это делать.

Сейчас Саяно-Шушенская ГЭС восстанавливается в том же виде, в каком она была до аварии. А это значит, что причины аварии остаются неустраненными. У нас есть подозрение, что при некоторых режимах работы происходят значительные акустические колебания, приводящие к тому, что гидроагрегат и подающая воду труба начинают сильно вибрировать, и эти вибрации совпадают по частоте с собственными частотами различных элементов конструкции гидроагрегата. Такого совпадения излучаемых и собственных частот нельзя допускать. Это правило следует четко прописать в законах, регулирующих промышленную безопасность.

Литература

Лобановский Ю.И. *Технические причины катастрофы на Саяно-Шушенской ГЭС (итоги расследования)* // www.synerjetics.ru

Курзин В.Б., Селезнев В.С. *О механизме возникновения высокого уровня вибраций турбин Саяно-Шушенской ГЭС* // *Прикладная механика и техническая физика*, 2010. № 4, Т. 51. С. 166–175.



Сегодня мы научились «слушать» низкочастотные колебания работающего гидроагрегата. Анализ изменений в амплитудах спектров на частотах, кратных частоте вращения гидроагрегата, позволяет контролировать режим его работы

Д. г.-м. н. В.С. Селезнев (Геофизическая служба СО РАН, Новосибирск)