УДК 550.34; 531/534; 627.8

СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕЙСМИЧЕСКОГО ШУМА ПО ЦИФРОВЫМ ЗАПИСЯМ НА ТОКТОГУЛЬСКОЙ ГЭС

¹⁾ Довгань В.И., ²⁾ Фролова А.Г.

¹⁾ Межотраслевой научно-исследовательский центр мониторинга высотных плотин (МНИЦ) «Плотина» при Кыргызско-Российском Славянском Университете, Бишкек, Кыргызстан
²⁾ Институт сейсмологии Национальной академии наук Кыргызской Республики, Бишкек, Кыргызстан

Представлены результаты анализа сейсмических шумов плотины Токтогульской ГЭС. Установлена возможность использования спектров шума для оценки состояния оборудования и остаточных явлений в теле плотины после землетрясений.

Цифровая сейсмометрическая система на Токтогульской ГЭС функционирует с середины 2005 г. Девять точек наблюдений установлены в бортах и на трёх уровнях плотины с учётом её блочного строения, десятая - опорная точка - расположена за пределами гидроузла в штольне, пройденной в скальных породах, на расстоянии 700 м от гидроузла. Для сейсмического мониторинга разработана методика наблюдений, результаты которого анализируются с использованием созданного специального пакета программ (в среде «Matlab») [1]. Регистрируются записи землетрясений, пусков гидроагрегатов и шумов плотины. Основными источниками шумов плотины являются работающие гидроагрегаты, водоводы, водосборы и др. На рисунке 1 приведен спектр мощности ускорений, рассчитанный по записям шума в штольне 10-ой опорной точки. На том же рисунке показаны спектры мощности сейсмического шума в «шумных» и «тихих» условиях для типовой станции, установленной на плотных породах [2].



Рисунок 1. Спектры мощности шума в различных условиях

В диапазоне частот 0,1–1,0 Гц кривая спектральной плотности сейсмического шума вблизи плотины находится внутри области, ограниченной нижне- и верхнеуровенной кривыми мировой модели сейсмического шума [2]. На частотах более 1 Гц спектр мощности отражает влияние техногенных процессов Токтогульской ГЭС.

Шумы плотины регистрируются в промежутке времени между землетрясениями и пусками гидроагрегатов, усредняются и сохраняются в виде почасовых спектров (рисунок 2-а). Кроме осредненных почасовых спектров сохраняется информация о максимальных почасовых спектрах (рисунок 2-б).



Рисунок 2. Почасовые амплитудные спектры Фурье по записи шума за период времени с 9 ч 02 м 15 с до 10 ч 02 м 15 с 01.01.2011 г.

Особенностью этих спектров является то, что они содержат максимальные амплитуды колебаний, которые возникали хотя бы один раз в течение часа. В осреднённых почасовых спектрах шума особенно чётко выделяются частоты, связанные с работой гидроагрегатов: 2,8 Гц – частота вращения турбины и 44,6 Гц – частота вращения лопастей, а также их гармоники (рисунок 2-а). Колебания амплитуд на этих частотах совпадают с колебаниями мощности, вырабатываемой ГЭС. В диапазоне частот 1–30 Гц происходят колебания опорных конструкций.

Максимальные почасовые спектры включают в себя, кроме основных резонансных частот, случайные. Например, на рисунке 2-6, виден максимум на частоте 2,6 Гц, не характерной для спектров шума. На рисунке 3 показано распределение амплитуд колебаний по телу плотины на частотах 2,8 Гц и 44,6 Гц.



Рисунок 3 Распределение амплитуд колебаний шума по телу плотины на разных частотах

Из рисунка 3 следует, что значения амплитуды шума возрастают с высотой: на частоте 2,8 Гц – максимум отмечается во второй точке, на частоте 44,6 Гц – максимум в шестой и верхних – первой и второй точках. Такая закономерность обусловлена конструкцией плотины: в центре расположены водоводы, по которым вибрации передаются на гребень и усиливаются плотиной. Сами гидроагрегаты расположены вблизи девятой точки наблюдений. Частота 2,8 Гц всегда присутствует в спектре землетрясений и опасна как для плотины, так и для гидроагрегатов.

В летнее ночное время, когда расход гидроэнергии минимальный, гидроагрегаты иногда отключают. На рисунке 4-а показаны спектры шума при отключенных гидроагрегатах. В этих спектрах отсутствуют максимумы на частотах оборотной составляющей 2,8 Гц, лопастной составляющей 44,6 Гц и их гармониках. Большой амплитудой выделяется частота 0,1 Гц (более низкие частоты находятся за пределами диапазона регистрации). Это одна из собственных частот колебаний плотины. Распределение амплитуды колебаний на этой частоте показано на рисунке4-б.





Рисунок 4. Спектры шума при отключенных гидроагрегатах по записям в пяти точках наблюдений (компонента С–Ю) и распределение интенсивности амплитуд колебаний на частоте 0,1 Гц

Частота 3,7 Гц – одна из собственных частот блока, в котором расположена вторая точка наблюдений. Большими значениями амплитуды выделяются колебания на частотах 93,1, 95,4 и 99,6 Гц. Эти частоты обусловлены работой оборудования в машинном зале, не связанного с гидроагрегатами.

Частоты и соответствующие им амплитуды колебаний шума плотины, связанные с работой оборудования плотины, при фиксированной мощности, вырабатываемой ГЭС, достаточно стабильны во времени. В случае аварийных ситуаций значения амплитуды на этих частотах меняются, что позволяет в определённой мере судить о причинах их возникновения. Например, анализ спектров шума до и после аварии второго гидроагрегата, произошедшей 29.09.2007 г., показал, что основной причиной был запуск гидроагрегата в нестандартном режиме, при котором отсутствовало вращение ротора.

Во время записи какого-либо события (пуска гидроагрегата, землетрясения и т. д.) шумы не обрабатываются, поэтому почасовые спектры шума позволяют оценить остаточные явления в теле плотины после землетрясения. На рисунке 5 приведен пример изменения шума плотины в период 30.07-31.07.2006 г., когда произошла серия местных толчков в очаговой зоне к юго-востоку от плотины. На рисунке 5 даны спектры по записям землетрясения 30.09.2006 г. с энергетическим классом Kp = 11,6 в трёх верхних и десятой точках наблюдений.



Рисунок 5. Спектры по записям землетрясения 30.07.2006 г. в четырёх точках наблюдений по составляющей С–Ю

В спектрах наблюдаются два основных максимума на частотах 1,1 Гц и 4,6 Гц. Изменение во времени уровня шума на этих частотах показано на рисунке 6. Стрелки указывают моменты начала записей на плотине зарегистрированных местных толчков и их энергетический класс. Во время первого, самого сильного толчка с энергетическим классом Kp = 11,5, наблюдалось четко выраженное увеличение уровня шума во всех точках наблюдений. На низкой частоте 1,1 Гц в момент максимума уровень шума в верхней второй точке по сравнению с десятой опорной точкой увеличился в 4 раза, на частоте 4,7 Гц - в 20 раз. Длительность записи землетрясения составила всего 20 с. Возбуждение шума, связанное с землетрясением, продолжалось в течение часа. Далее последовали ещё два толчка классов Kp = 9.7 и Kp = 7.9, суммарный эффект которых также отразился на уровне шума. Землетрясение с энергетическим классом Кр = 9,6 хорошо отразилось на частоте шума 1,1 Гц. На более высокой частоте 4,7 Гц эффект выражен нечетко – высокочастотные колебания при землетрясениях затухают значительно быстрее. К тому же, создается впечатление, что этому землетрясению предшествовал, по крайней мере, ещё один очень слабый толчок, ниже уровня шума, который система не зафиксировала.



Рисунок 6. Амплитуды колебаний шума в период 16 ч 20 м 30.07.2006 – 14 ч 20 м 31.07.2006 на различных фиксированных частотах в десяти точках наблюдений



Рисунок 7. Почасовые усредненные спектры за сутки 13.08.2006 г. и изменение уровня шума на фиксированной частоте

На рисунке 7 приведены спектры шума за сутки с 13 по 14.08.2006 г., когда в 12 ч 07 м произошло ещё одно достаточно сильное местное землетрясение с энергетическим классом Kp = 11,7.

Сразу после землетрясения в течение часа также наблюдалось увеличение уровня шума – особенно чётко это видно на низких частотах от 0,1 Гц до 0,9 Гц.

Выводы

Шумы плотины, представленные в спектральной форме, дают информацию о частотах, характерных для работы оборудования плотины. При отключённых гидроагрегатах в спектрах видны собственные частоты колебаний плотины и отдельных её блоков.

Почасовые спектры позволяют оценить остаточные явления в теле плотины после землетрясений. В случае местных достаточно сильных толчков в течение часа наблюдается возмущение спектрального фона плотины.

Литература

- Довгань, В.И. Сейсмометрические наблюдения на Токтогульской ГЭС / В.И. Довгань, А.Г. Фролова // Геодинамика внутриконтинентальных орогенов и геоэкологические проблемы: материалы 4 Международного симпозиума, 15–20 июня 2008. – Москва-Бишкек, 2009. – С. 270–275.
- 2. Аки К, Ричардс П. Количественная сейсмология / К. Аки, П. Ричардс. М: Мир, 1983. Т.1. 519 с.

ТОҚТАГҮЛ ГЭС-ТЕГІ ЦИФРЛЫҚ ЖАЗБАЛАР БОЙЫНША СЕЙСМИКАЛЫҚ ШУДЫҢ СПЕКТРЛІК

¹⁾ Довгань В.И., ²⁾ Фролова А.Г.

¹⁾ КРСУ жанындагы «Плотина» МНИЦ, Бішкек, Қырғызстан ²⁾ Қырғыз Республикасы Ұлттық ғылым академиясының Сейсмология институты, Бішкек, Қырғызстан

Тоқтагүл ГЭС бөгетінің сейсмикалық шуларын талдау нәтижелері келтірілген. Шулар спектрлерін жабдықтың күйін және жерсілкінулерден кейін бөгет денесіндегі қалдық құбылыстарды бағалау үшін пайдалану мүмкншілігі белгіленген.

SPECTRAL CHARACTERISTICS OF SEISMIC NOISE ON DIGITAL RECORDS AT TOKTOGULA HYDROELECTRIC POWER STATION

¹⁾ V.I. Dovgan, ²⁾ A.G. Frolova

¹⁾ MSRC "Plotina" under KRSU, Bishkek, Kyrgyzstan

²⁾ Institute of Seismology of National Academy of Sciences of Kyrgyz Republic, Bishkek, Kyrgyzstan

The results of the analysis of Toktogul hydroelectric power station dam noises are presented. The possibility of using the noise spectra to assess the state of equipment and the residual effects in the dam body after earthquakes is noted.