

УДК 550.34; 531/534; 627.8

СЕЙСМОМЕТРИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ НА ТОКТОГУЛЬСКОЙ ГЭС

В.И. Довгань

SEISMOMETRIC SUPERVISIONS
ON TOKTOGUL HYDROELECTRIC POWER STATION

V.I. Dovgan

За период с января по июнь 2016 г. система наблюдений на Токтогульской ГЭС записала 30 землетрясений. Первый квартал отличался относительно слабым сейсмическим затишьем: в районе Токтогульской ГЭС не было зарегистрировано ни одного местного толчка. Три близких землетрясения произошли на эпицентральных расстояниях 68, 85, 95 км и были замечены только приборами. Эпицентры записанных на плотине пяти далеких землетрясений расположены в одной очаговой зоне – в районе Гиндукуша. Самое сильное из них, 13 января в 02 ч 06 мин, имело энергетический класс $K=14.3$.

Второй квартал оказался более активным сейсмически: на плотине зарегистрировано 22 землетрясения, из них 5 – далеких на эпицентральных расстояниях более 500 км, 13 – на расстояниях от 150 до 270 км, два – в ближней зоне (35 км и 60 км) и два местных толчка. Из далеких событий только одно, 10 апреля ($K=16.3$), могло ощущаться на плотине с интенсивностью до трех баллов. Колебания на плотине от таких удаленных источников – низкочастотные, воздействие происходит на плотину целиком, а не на отдельные ее блоки, и поэтому может остаться незамеченным. Из близких толчков два землетрясения 12 апреля и 27 мая были на пределе осязчивости: максимальные колебания наблюдались на гребне плотины и составили 2 балла. И вновь “проснулась” очаговая зона Нурина землетрясения (5 октября 2008 г., $\varphi=39.5$, $\lambda=73$, 8; $K=16$): 26 июня в 17 ч 17 мин там произошло землетрясение энергетического класса $K=15.3$, которое сопровождалось многочисленными афтершоками (рисунок 1).

Рассмотрим более детально возможное воздействие на гидросооружение землетрясения, произошедшего вблизи п. Нура. На плотине оно запи-

салось двумя файлами – вступлениями продольных и поперечных волн (рисунок 2).

Разность моментов вступлений продольных и поперечных волн 29.7 с, эпицентральное расстояние 260 км, координаты эпицентра по данным ИС НАН КР: $\varphi=39.41$, $\lambda=73.68$. Максимальное смещение в группе продольных волн 102 мкм, в группе поперечных волн – 344 мкм, энергетический класс $K=15.3$. Вступление продольных волн очень слабое с постепенным увеличением амплитуд колебаний – типичное для землетрясений из этой зоны. Проникновение продольных волн через плотину могло ощущаться во всех ее точках с интенсивностью от 2.2 до 2.6 балла, при этом максимальные колебания наблюдались на гребне. Поперечные волны были более интенсивные и на плотине практически во всех точках ощущались с интенсивностью порядка четырех баллов, при этом максимальные колебания

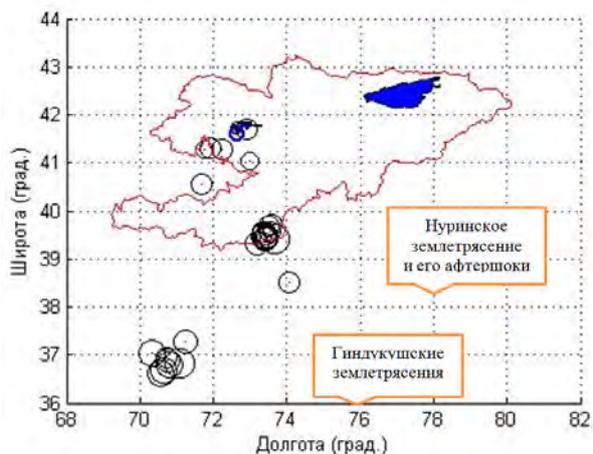


Рисунок 1 – Эпицентры землетрясений, зарегистрированных на плотине за первое полугодие 2016 г.

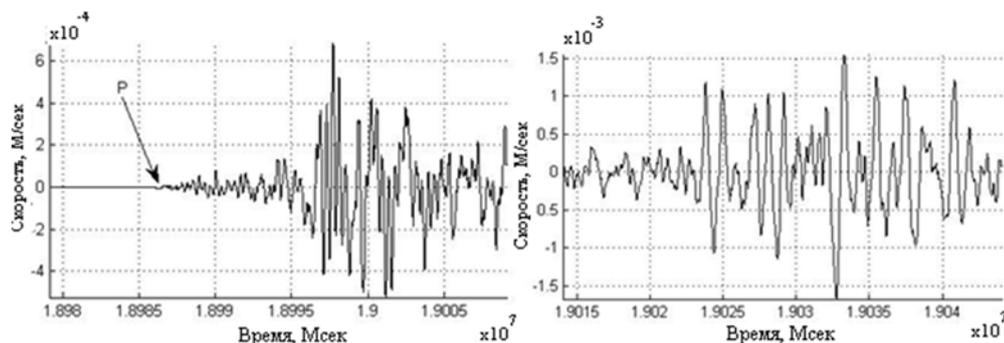


Рисунок 2 — Записи продольных волн (слева) и поперечных волн (справа) в десятой (опорной) точке наблюдений, расположенной за пределами плотины

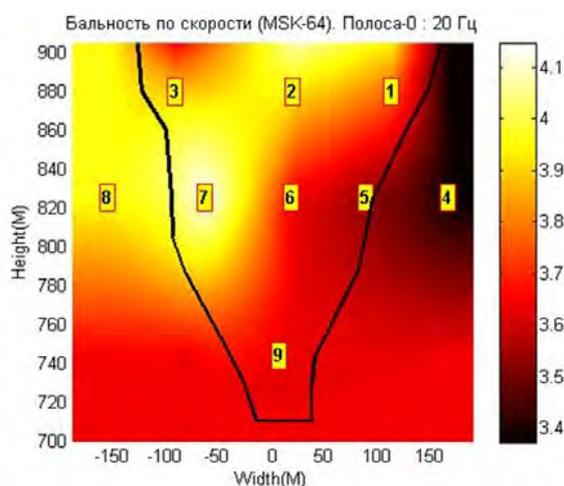


Рисунок 3 – Распределение интенсивности колебаний по телу плотины по записям поперечных волн. Линией показан контур плотины, цифрами отмечены точки наблюдений

наблюдались вблизи седьмой точки. Магнитуда Мд с учетом спектрального состава изменялась в небольших пределах от 3.86 в четвертой точке до 4.19 – на гребне (таблица 1). На рисунке 3 видно направление подхода поперечных волн – с юго-востока, со стороны левого борта плотины.

При прохождении поперечных волн максимальные смещения наблюдались между блоками, в которых расположены первая и вторая точки по направлению Y (С-Ю) и составили 0,19 мм (рисунок 4).

Относительное движение бортов каньона при прохождении поперечных волн приведено в таблице 2.

Максимальное смещение бортов каньона по направлению В-З составило 0.37 мм. Относительное движение между точками центрального бло-

Таблица 1 – Магнитуда Мд с учетом спектрального состава

Точки	Балл	Мд
1	3.77	4.08
2	3.92	4.14
3	3.91	4.11
4	3.37	3.86
5	3.52	4.01
6	3.64	4.04
7	4.15	4.10
8	3.96	4.04
9	3.63	3.97
10	3.65	3.97
Max	4.16	4.19

ка при прохождении поперечных волн приведено в таблице 3.

Максимальные смещения в центральном блоке наблюдались между блоками, в которых расположены точки 2 и 9 по направлению Z и составили 0.12 мм. Все полученные величины относительных движений – не большие, не критические и не представляют для плотины серьезных последствий.

Максимальные колебания по записям как продольных, так и поперечных волн происходили в низкочастотном диапазоне – до 2–2.5 Гц, т. е. на собственных частотах плотины (рисунок 5).

Основной толчок сопровождался многочисленными афтершоками. До конца июня было зарегистрировано 11 землетрясений с энергетическими классами К³11, из них только одно, 29 июня в 03 ч 38 мин с К=14.5, могло ощущаться на пло-

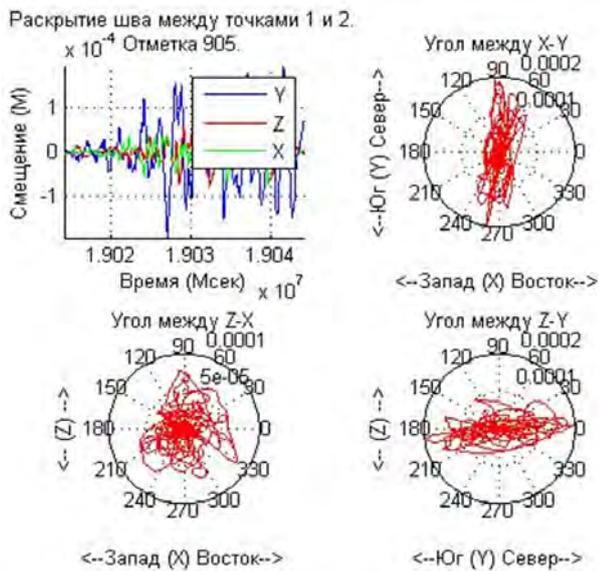


Рисунок 4 – Раскрытие шва между блоками, в которых расположены пункты наблюдений 1 и 2 и проекции движения точки на три плоскости при прохождении поперечных волн

Таблица 2 – Относительное движение бортов каньона при прохождении поперечных волн

Смещение (М):	Макс.	Мин.
Точки 4 относительно 8 по "X":	0.00033054	-0.00036914
Точки 4 относительно 8 по "Y":	0.00030099	-0.00030444
Точки 4 относительно 8 по "Z":	0.0001846	-0.00018693

Таблица 3 – Относительное движение между точками центрального блока при прохождении поперечных волн

Смещение (М):	Макс.	Мин.
Точки 9 относительно 6 по "X":	8.37e-05	-6.0298e-05
Точки 9 относительно 6 по "Y":	8.5317e-05	-9.387e-05
Точки 9 относительно 6 по "Z":	2.8549e-05	-2.8401e-05
Точки 9 относительно 2 по "X":	8.2218e-05	-4.7603e-05
Точки 9 относительно 2 по "Y":	9.8745e-05	-0.00010627
Точки 9 относительно 2 по "Z":	9.1656e-05	-0.00012294

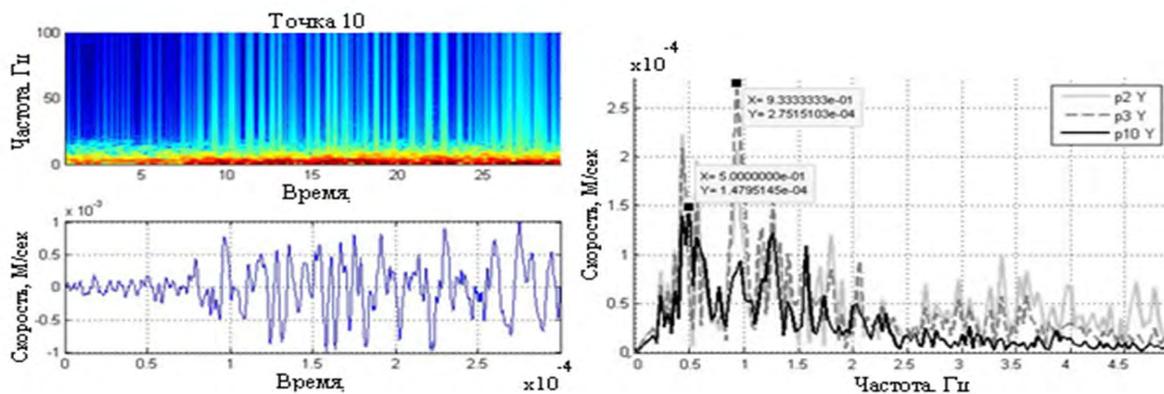


Рисунок 5 – Спектрограмма (слева) и спектры по записям поперечных волн землетрясения в двух верхних и десятой точках наблюдений

тине с интенсивностью до трех баллов. Остальные афтершоки были замечены только приборами.

Таким образом, в течение рассмотренного периода времени наибольшее воздействие на плотину – до четырех баллов – могло оказать землетрясение, произошедшее на южной границе Кыргызстана вблизи п. Нура. Колебания при этом событии

происходили на низких – собственных частотах плотины. Максимальные смещения наблюдались между блоками, в которых расположены первая и вторая точки по направлению С-Ю и составили 0,19 мм. В масштабах самой плотины это очень малые величины, которые не могли вызвать в сооружении заметных изменений.

В третьем квартале 2016 г. на плотине было зарегистрировано 16 землетрясений, из них только два произошли вблизи гидроузла: 20-го июля и первого августа. Землетрясение 20 июля в 01 час. 35 мин. с эпицентром в 35 км от гидроузла и энергетическим классом $K=8$ было замечено только приборами. Землетрясение первого августа, произошедшее в 14 час. 00 мин. в 25-и км от плотины и классом $K=10.5$, могло ощущаться на гидроузле с интенсивностью от двухх до трех баллов. Остальные 14 землетрясений произошли на юге Кыргызстана в одной очаговой зоне, расположенной вблизи Нуринского землетрясения 2008 г. Главный толчок был зафиксирован 26 июня в 17 час. 17 мин. На плотине землетрясение записалось двумя файлами: вступлением продольных и поперечных волн (рисунок 6).

Из-за нечеткости первого вступления определить направление на эпицентр по записям в опорной

десятой точке, расположенной за пределами плотины, не удалось. Координаты эпицентра по данным ИС НАН КР: $\varphi=39.41$, $\lambda=73.68$, по данным kndc.kz: $\varphi=39.56$, $\lambda=73.22$, расстояние от плотины до эпицентра – 260 км. Максимальное смещение в группе продольных волн 102 мкм, в группе поперечных волн – 344 мкм, энергетический класс $K=15.3$.

Прохождение продольных волн через плотину могло ощущаться во всех ее точках с интенсивностью от 2.2 до 2.6 балла, при этом максимальные колебания наблюдались на гребне (рисунок 2, слева). Поперечные волны были более интенсивные и на плотине практически во всех точках ощущались с интенсивностью порядка четырех баллов, при этом максимальные колебания наблюдались вблизи седьмой точки (рисунок 7, справа). На рисунке видно направление подхода поперечных волн – с юго-востока, со стороны левого борта плотины.

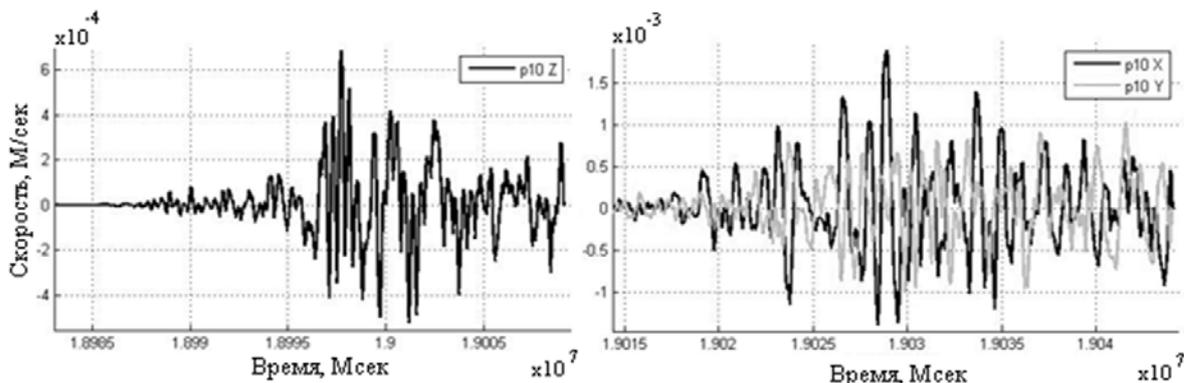


Рисунок 6 — Записи продольных волн (слева) и поперечных волн (справа) в десятой точке

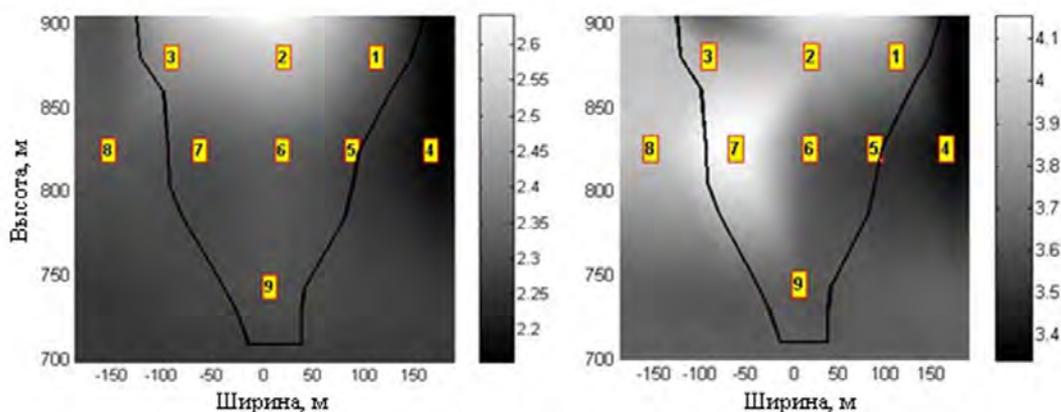


Рисунок 7 — Распределение интенсивности колебаний по телу плотины при вступлении продольных (слева) и поперечных волн (справа)

Таблица 4– Данные по смещению между блоками

16-06-26-17-18-24_evn1.EVN1	Относительное движение по шву	
	Макс.	Мин.
Смещение (М):		
Точки 1 относительно 2 по "X":	5.844e-05	-7.2583e-05
Точки 1 относительно 2 по "Y":	0.00019643	-0.00019509
Точки 1 относительно 2 по "Z":	6.4883e-05	-7.757e-05
Точки 2 относительно 3 по "X":	5.6069e-05	-5.5737e-05
Точки 2 относительно 3 по "Y":	0.0001407	-0.00011178
Точки 2 относительно 3 по "Z":	7.0335e-05	-5.7881e-05
Точки 5 относительно 6 по "X":	5.6393e-05	-5.1509e-05
Точки 5 относительно 6 по "Y":	9.0586e-05	-6.1406e-05
Точки 5 относительно 6 по "Z":	9.241e-05	-8.2682e-05
Точки 6 относительно 7 по "X":	0.0001282	-0.00014619
Точки 6 относительно 7 по "Y":	8.9919e-05	-8.4614e-05
Точки 6 относительно 7 по "Z":	5.8894e-05	-9.9036e-05

Таблица 5 – Относительное движение бортов каньона при прохождении поперечных волн

Смещение (М):	Макс.	Мин.
Точки 4 относительно 8 по "X":	0.00033054	-0.00036914
Точки 4 относительно 8 по "Y":	0.00030099	-0.00030444
Точки 4 относительно 8 по "Z":	0.0001846	-0.00018693

При прохождении продольных волн максимальные смещения наблюдались между блоками, в которых расположены первая и вторая точки по направлению Y (С-Ю) и составили 0,1 мм. В таблице 4 приведены смещения между блоками, в которых расположены соответствующие точки наблюдений при вступлении поперечных волн на плотину.

При прохождении поперечных волн, как и при прохождении продольных волн, максимальные смещения наблюдались между блоками, в которых расположены первая и вторая точки по направлению Y (С-Ю) и составили 0,19 мм (рисунок 8).

Относительное движение бортов каньона при прохождении поперечных волн приведено в таблице 5.

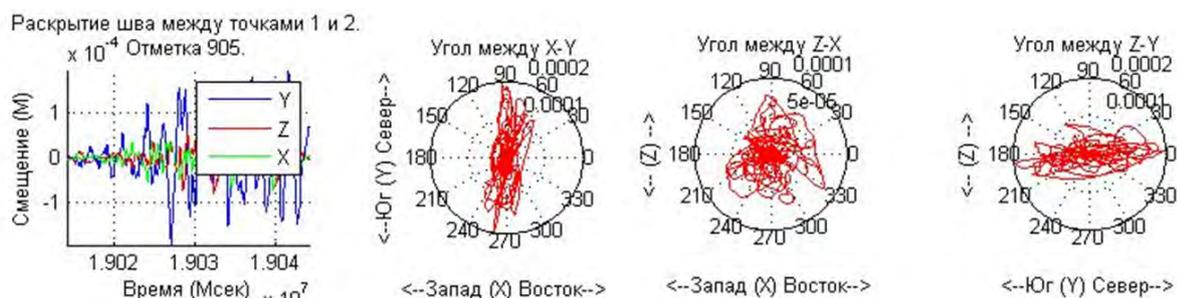


Рисунок 8 – Раскрытие шва между точками 1 и 2 и проекции движения точки на три плоскости при прохождении поперечных волн

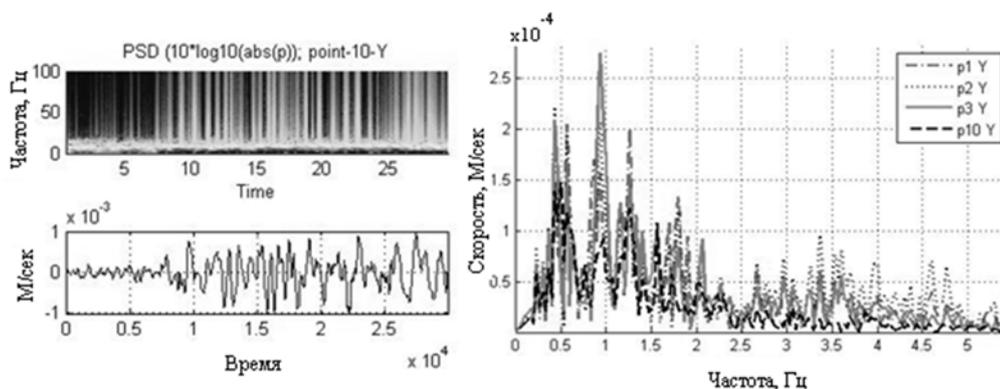


Рисунок 9 – Спектрограмма (слева) и спектры колебаний в четырех точках наблюдений (справа) при вступлении поперечных волн

Максимальное смещение бортов каньона по направлению В-З составило 0.37 мм. Все полученные величины относительных движений – не большие, не критические и не представляют для плотины серьезных последствий.

Максимальные колебания по записям продольных и поперечных волн на плотине происходили в низкочастотном диапазоне – до 5 Гц (рисунок 9).

Колебания при землетрясении наблюдались на низких – собственных частотах плотины и воздей-

ствие происходило на гидросооружение в целом, а не на отдельные его блоки.

Землетрясение сопровождалось многочисленными афтершоками, 13 из них, наиболее сильных, были зарегистрированы на плотине. Большая часть афтершоков была замечена только приборами и только один – 29 июня ощущался в разных точках сооружения с интенсивностью до трех баллов.