

*Маматов Ж.Ы., Копобаев М.М., Кожобаев Д.Ш.,
Ордобаев Б.С., Матозимов Б.С.*

**СЕЙСМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ ВЗРЫВА В ЗОНЕ КАМЕННО-НАБРОСНОЙ
ПЛОТИНЫ КАМБАРАТИНСКОГО ГЭС-2**

*Zh.Y. Mamatov, M.M. Kopobaev, D.Sh. Kozhobaev,
B.S. Ordobaev, B.S. Matozimov*

**SEISMIC EFFECT OF AN EXPLOSION IN THE STONE-NABROSNOY
DAM KAMBARATA-2**

УДК: 624.031

В статье рассмотрены сейсмические эффекты взрыва. Произведенный промышленный взрыв при строительстве гидроэлектростанции Камбар-Ата 2 предоставил уникальную возможность для изучения процессов распространения и влияния взрывных волн на объекты расположенные вблизи места взрыва. В предлагаемой статье рассмотрены предварительные итоги проведенных измерений во время взрыва. На основании полученных результатов проведены некоторые выводы о влиянии взрыва на объекты находящиеся вблизи места взрыва. Причем, волны, образующиеся при взрыве, во многом аналогичны сейсмическим при землетрясениях. Поэтому, полученные результаты будут полезны для специалистов, занимающихся сейсмостойким строительством.

The seismic effects of the blast are considered in this article. The industrial blasts at construction of the Hydro Power Stations Kambar-Ata 2 has been presented to show the unique possibility for study of the spreading and influence of the explosive waves to objects located rear the blast. The preliminary results of measurements conducted during the blast are considered in this article. Same conclusions, based on measured parameters, are given on influence of blast to facilities close to blast site. More ever, blast waves are very similar to seismic waves from earthquakes. Because of it the received results will be useful for specialist working on seismic resistant construction.

Сооружение каменно-набросных плотин с помощью мощных взрывов представляет большой практический интерес для создания плотины гидротехнического сооружения. В рассматриваемом нами случае впервые в Кыргызской Республике использовано метод смещения горной породы для создания плотины гидротехнического сооружения.

При Камбаратинском взрыве область интенсивного воздействия охватывает весь комплекс основных и вспомогательных объектов ГЭС-2. Поэтому основные сооружения ГЭС, расположенные от участка крупномасштабного взрыва (КМВ) на расстоянии 400-4500м в составе: строительно-эксплуатационный водосброс (СЭВ), турбинные водоводы, участки затвора и бортов водоприемника, и другие застройки поселка Кара-Жыгач (расстояние от домов поселка до КМВ 4-6

км), здание ГЭС, хозяйственные постройки – являлись объектами сейсмического контроля.

Основные сооружения гидроузлов (плотина, здание ГЭС, водосбросы), как правило, размещаются на скальном массиве, в пределах которого возможно возникновение относительных подвижек скальных массивов, образующих основание сооружения, исключаются [1].

Из общей теории распространения сейсмических волн известно, что в твердой безграничной среде источник колебания (в данном случае взрыв) может возбуждать как продольные (растяжения-сжатия), так и поперечные (сдвиговые) волны. На границах раздела сред с различными акустическими жесткостями образуются отраженные и преломленные однотипные волны, а также обменные волны, заключающейся в том, что продольная волна возбуждает поперечную и наоборот. Таким образом, при возбуждении колебаний в горных породах возникает сложная картина система волн.

В рассматриваемом случае крупномасштабный взрыв происходил внутри сферической полости левого склона в крепких известняках. Известно, при взрыве образуются: очаг, зона дробления, зона трещиноватости и упругая зона [2].

В начальный момент времени взрыва, в мощной среде крепкого известняка образовалось куполообразное поднятие скальной породы, которое впоследствии явилось материалом, образующим водонапорное тело плотины.

При взрыве горных пород в очаге преобладающими являются упругие волны растяжения, в которых длина волн больше чем относительно коротких т.е. образованных от волн сжатия и звуковых волн. Наложение волн сжатия и растяжения в толще пород во второй и третьей зонах образуют неуравновешенные переменные силы, вызывающие хаотичные вибрации.

Вибрации также могут возникнуть от свободно падающего элемента скального массива. Обычно длительность таких процессов с переменной частотой продолжительна, поэтому возникают по склону оползни активных компонентов веса $W \cos \alpha$ на наклонной поверхности. Угол трения для скальных пород находится в пределах 35-45° [3].

В случае совместного действия на скальный массив вибраций и заданных переменных сейсмических сил, которые приближенно можно рассматривать как с периодически меняющейся амплитудой, в зонах дробления и трещиноватости могут привести к явлению типа «биение», возбуждающее и вызывающее неоднократные импульсы движения и резонансные колебания системы.

Напомним, что звуковые волны из-за малой скорости распространения в верхнем слое среды $V=85$ м/с, обычно запаздывают.

Необходимые исходные данные для исследования были получены следующим образом: динамические параметры переменных сил определялись записями смещения инженерно-сейсмометрической станции ИСС КГУСТА, которая была расположена на удалении от пункта взрыва на расстояние 3,5 км (мост через р. Нарын), где на частоту колебания системы уменьшенные амплитуды упругих волн не влияют [4].

В этой зоне упругости сопровождающие и накладывающиеся на основные упругие колебания системы высокочастотные волны полностью не затухают.

Взрывы регистрировались в предполагаемой упругой зоне в ждущем режиме осциллографом НО41 с разверткой ленты 10 мм/с.

Сейсмометрические каналы для регистрации перемещений (смещений) и ускорений соответственно состоят из сейсмометров СМ-3 ($T_s=1,2$ с, $D_s=0,5$) + ГБ-IV-10 и ОСПГ ($T_s=0,2$ с, $D_s=12$) + ГБ-IV-120, где для приведенных выше каналов увеличение для смещения $V_0 = 1$, а для ускорения $V_a = 0,009c^2$.

Затухание сейсмозрывных волн. В качестве параметра, характеризующего сейсмическое действие и сейсмический эффект взрыва, принята максимальная массовая скорость в сейсмозрывной волне. Многочисленные исследования промышленных взрывов показали, что амплитуда скорости сейсмических колебаний или максимальная массовая скорость в сейсмозрывной волне зависит от эпицентрального расстояния взрываемого заряда до объекта (места регистрации) и массы заряда. Эта

зависимость выражается степенной функцией от так называемого приведенного расстояния:

$$V = K \cdot \left(\frac{q^{1/3}}{R} \right)^n \text{ см/с} \quad (1)$$

где V – максимальная скорость колебаний в см/с, q – масса заряда в кг, R – эпицентрального расстояния в м. Коэффициент K в этой формуле получил название коэффициента сейсмичности. Его величина зависит от физико-механических свойств горных пород (прочности, естественной трещиноватости, влажности и т.д.) и условий взрыва (зажатая среда, число обнаженных поверхностей, качество забойки заряда и т.д.). Для прочных горных пород типа гранита и мрамора коэффициент сейсмичности достигает величины около 400 и более. Показатель n определяет затухание волны с расстоянием. Значение n варьируются в узких пределах. Для диапазона скоростей колебаний от 10 см/с до 0,01 см/с n имеет значение около 1,5. В ближней зоне взрыва, где амплитуда достигают 1 м/с и более, степень затухания в формуле (1) может равняться 2 и больше. От свойств горных пород (среды) показатель n зависит в меньшей степени, нежели коэффициент сейсмичности.

Обычно зависимости (1) строят для вертикальной и горизонтальной скорости колебаний отдельно. При этом коэффициент сейсмичности для этих компонент скорости может отличаться в 2 раза. При недостаточности экспериментальных материалов, для вертикальных и горизонтальных компонент строится общая зависимость скорости колебаний от приведенного расстояния.

Отметим, что регистрация скорости и ускорения колебаний грунта на низменных участках района трещиноватости и упругости осуществлялась одновременно сейсмометрическими приборами и других исследователей.

Велосиграммы сейсмозрывных волн, представленные Институтом сейсмологии НАН Кыргызской Республики, позволяют установить зависимость вида (1) для Камбаратинского взрыва. Ниже, в таблице 1 приведены максимальные скорости вертикальных и горизонтальных колебаний от взрыва первого и второго зарядов сеймопунктов.

Параметры сейсмозрывной волны

Таблица 1.

№ сеймопункта	Заряд № 1			Заряд № 2			R -фаза	
	R1 м	Vz см/с	Vr см/с	R2 м	Vz см/с	Vr см/с	Vz см/с	Vr см/с
1- СЭВ портал	360	13,5	11,2	450	15,8	10,9	13,2	10,9
2- Внутри СЭВа	400	7,0	9,4	510	8,4	8,0	-	-
3- ГЭС фундамент	580	8,0	7,0	690	9,0	11,7	-	-
5-Кладбище	1470	3,1	2,3	1550	5,0	3,15	3,4	4,1
6-Поселок	3970	0,91	0,53	4060	1,4	0,85	1,94	2,6
7-Скала над СЭВ	480	18,6	26,2	570	20,2	27,3	-	-
9-Правый берег	660	5,8	4,2	740	6,8	6,0	6,6	6,0

Для сеймопунктов на расстояниях менее 1 км от эпицентра взрыва приведенные в таблице 1

скорости колебаний наблюдались в продольной фазе сейсмозрывной волны. На расстояниях более

1 км уже заметно разделение волны на продольную и поверхностную фазы, которые занесены в столбцы R – фаза. Эти фазы отличаются по частоте колебаний и по скорости распространения. По амплитуде колебаний на этих расстояниях поверхностная волна уступает продольной. Отметим, что на расстоянии 4 км максимальные скорости колебаний в поверхностной волне уже больше, чем в продольной, поэтому ее рассмотрение также важно для определения интенсивности сейсмического воздействия взрыва.

Хорошо известно, что параметры сейсмо-взрывных волн зависят от категории грунтов, на которых установлены сейсмоприемники. В общем случае принимается, что на мягких грунтах амплитуды в 2 раза больше, чем на скальных. Однако возможны резонансные эффекты, которые увеличивают это различие. При Камбаратинском взрыве все сеймопункты на левом берегу были размещены на скальном основании или на бетоне, залитом на скальные выходы. На правом берегу все сеймопункты размещались на мощной толще наносов из песка и глины.

По данным значениям максимальных скоростей колебаний от приведенного расстояния для сравнения сейсмического эффекта от первого и второго зарядов, можно сделать однозначный вывод, что сейсмическая эффективность обоих

зарядов была одинаковой. Иными словами, процент энергии зарядов, пошедших на формирование взрывной волны, для обоих зарядов был одинаков.

Приведенное сравнение амплитуд сейсмо-взрывных волн при Камбаратинском взрыве с другими известными крупномасштабными взрывами: на Бурлыкя, на Уч-Тереке и массовом взрыве на Лебединском ГОКе, носит справочный характер, так как вмещающие заряд среды при сравниваемых взрывах отличаются и по геологии и по физико-механическим свойствам. В целом, он показывает, что сейсмический эффект Камбаратинского взрыва подобен тому, что ранее наблюдалось при крупномасштабных взрывах.

В таблице 1 приведены максимальные скорости колебаний в поверхностной волне (R – фаза). Эти данные носят предварительный характер, полученные на удаленных станциях. Полученные данные качественно показывают, что степень затухания амплитуды в поверхностной волне меньше, чем в продольной, что является характерным для сейсмических волн.

Для анализа процесса оползней в предполагаемом районе створа плотины приведем полученные значения из результатов регистрации сейсмо-взрывных волн в пункте наблюдения № 7.

Сейсмометрические характеристики пункта наблюдения № 7 от двух зарядов

Таблица 2.

№ п/п	R, м.	Максимальные ускорения, м/с ² .				Максимальные скорости, м/с.			
		верт.	рад.	танг.	гор.	верт.	рад.	танг.	гор.
1.	480	7,4	8	4,85	8,5	0,186	0,26	0,137	0,262
2.	570	8,52	8,26	5,84	8,51	0,202	0,27	0,153	0,273

Пункт наблюдения №7 Института сейсмологии НАН Кыргызской Республики был размещен на скалистом склоне, примыкающем к порталам водоводов. Акселерометры CMG - 5T были установлены на бетонном основании. Горизонтальные сейсмометры были ориентированы по направлению запад-восток и юг-север.

Как видно из табл. 2, результаты ускорения скорости колебания бетонного основания при втором заряде больше. В данном случае колебания скалистого склона усиливаются по всем направлениям. Следовательно, в районе действия упругих волн значение сейсмических импульсов от второго взрыва максимально увеличивается. В связи с этим скорости движения свободно лежащих тел и горных пород по плоскости скольжения возрастают.

В результате, за начальную скорость скольжения активных компонентов по наклонной плоскости можно принять значения 0,273 м/с.

В качестве замечания общих научно-исследовательских работ на объекте исследования отметим отсутствие ИСС для записи смещения в зонах трещиноватости, а также на прилегающих участках предполагаемого района створа плотины.

Дело в том, что очень трудно определить параметры переменных сил через записи ускорения (скорости) объемных горных масс, лежащих на плоскости скольжения. Поэтому выявление последовательности изменения частоты колебания и активных переменных сил, действующих по наклонной скальной плоскости, определялось через записи смещения в пункте наблюдения, расположенном на расстоянии 3,5 км (рис.1.) от очага взрыва (ИСС КГУСТА).

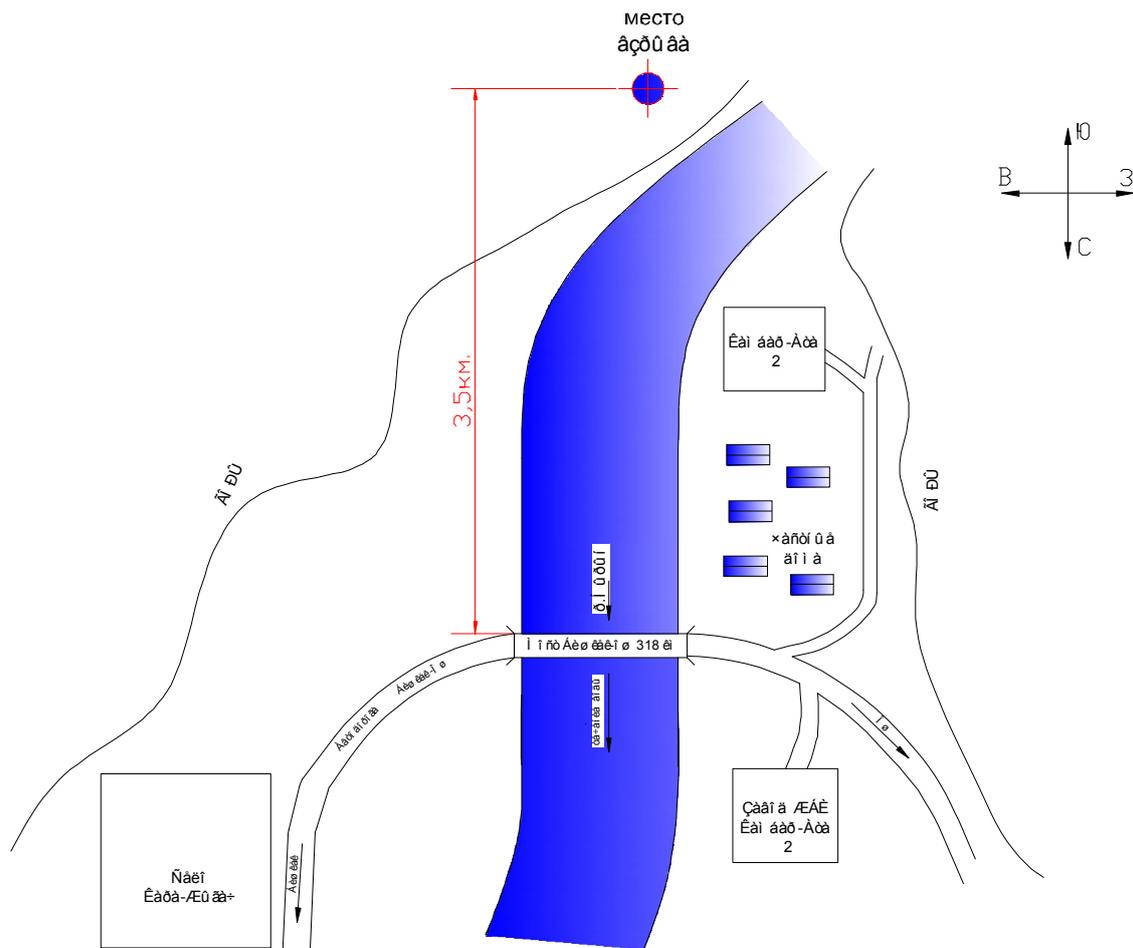


Рис. 1. Ситуационная схема расположения моста

Выводы

Предварительный анализ полученных результатов по обследованию существующих объектов, где были установлены станции наблюдения показывают:

Ввиду того, что глубина заложения взрывчатых веществ была неглубокой и влияние взрыва носит локальный характер. Поэтому сейсмометрические приборы на объектах показали, что амплитуда перемещения и частота колебаний не превышают соответственно 2,1мм и 3,3 Гц.

Литература

1. СНиП КР 20-02:2004. Сейсмостойкое строительство. Нормы проектирования. – Бишкек, 2004.
2. Ямщиков В.С. Волновые процессы в массиве горных пород: Учебное пособие для вузов.- М.: Недра, 1984., 271с.
3. Джегер Ч. Механика горных пород и инженерные сооружения. - М.: Мир, 1975.
4. Бишоп Р., Колебания /Под ред. Я.Г. Пановко. 3-е изд. - М.: Наука, 1986. – 192 с.
5. Пановко Я.Г. Введение в теорию механических колебаний. – М.: Наука, 1971. – 240 с.
6. Грабовский. Р.И. Курс физики. - М.: Высшая школа, 1974.
7. Арнольд В. Теория катастроф. Научная жизнь №10 октябрь 1989.

Рецензент: д.тех.н., профессор Кутуев М.Д.