

УПРАВЛЕНИЕ АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНЫМ СПЕКТРОМ КОРОТКОЗАМЕДЛЕННОГО ВЗРЫВА ДЛЯ СНИЖЕНИЯ СЕЙСМОЭФФЕКТА

В. В. Бойко, докт. техн. наук, Д. А. Ремез, соискатель (Институт гидромеханики НАН Украины), В. В. Бойко, канд. техн. наук (НТУУ «КПИ»)

Наведено результати експериментальних досліджень з визначення механізму формування амплітудно-частотного спектра при короткосповільненому вибуху та розроблення способу зменшення інтенсивності сейсмічних коливань на об'єкт, що охороняється, за рахунок формування домінуючих частот у зарезонансних областях.

Ключові слова: вибух, сейсмовибухові хвилі, сейсмобезпека, амплітудно-частотний спектр коливань, короткосповільнений вибух, інтервал уповільнення.

Приведены результаты экспериментальных исследований по определению механизма формирования амплитудно-частотного спектра при короткозамедленном взрыве и разработке способа уменьшения интенсивности сейсмических колебаний на охраняемый объект за счет формирования доминирующих частот в зарезонансных областях.

Ключевые слова: взрыв, сейсмовзрывные волны, сейсмобезопасность, амплитудный частотный спектр колебаний, короткозамедленный взрыв, интервал замедления.

Results of experimental researches on the definition of the mechanism of formation peak-frequency spectrum at short-delayed blasting and at the development of the method of reduction the intensity of seismic vibrations on protected object by formation of dominating frequencies in extra resonance region are put forth.

Keywords: explosion, seismoblast waves, seismosafety, peak frequency spectrum of vibrations, short-delayed explosion, delay interval.

Анализ состояния проблемы. Охраняемые здания и сооружения являются резонансными системами и всегда избирательно реагируют на сейсмические воздействия от взрывов зарядов взрывчатых веществ (ВВ). Поэтому необходимо уделять внимание не только амплитуде скорости колебаний, но и частотным характеристикам колебательных процессов, а управление сейсмическим эффектом (уменьшение сейсмической опасности) возможно на основе регулирования их спектрального состава. Фактически конструкции строений могут выдержать воздействия значительных по амплитуде сейсмовзрывных колебаний, но только в том случае, если в полосе резонансной частоты в спектре действующего колебания будет находиться минимум амплитуды, а максимум – как можно дальше от частоты резонанса. При этом наибольшую опасность представляют те частотные составляющие спектра сейсмоколебаний, при которых в охраняемой конструкции возникают резонансные явления. В работах [1–7] изучались спектральные характеристики сейсмоколебаний при короткозамедленном взрывании (КЗВ), однако механизмы образования и способы управления амплитудно-частотными характеристиками сейсмоколебаний не были раскрыты.

Целью данной работы является разработка способа управления спектром сейсмозрывных волн на основе экспериментальных исследований КЗВ системы зарядов для уменьшения сейсмоопасности объектов.

Изложение основных материалов исследования. С целью изучения амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) при КЗВ на сейсмостойкость конструкций с различным диапазоном собственных частот колебаний использовался спектральный метод расчета, приведенный выше, а при проведении экспериментальных исследований применялась методика многоканальной регистрации колебаний. Для получения достоверных результатов измерения различных параметров сейсмического действия взрыва исследования проводились с применением стандартных сейсмоприемников типа СМ-3, предназначенных для регистрации вертикальных и горизонтальных колебаний, аналого-цифровые преобразователи типа 140, 440 и ПЭВМ. Применение сейсмоприемников типа СМ-3, преобразующих механические колебания в электрические сигналы, позволяет с использованием простейших средств измерений произвести регистрацию и анализ амплитудно-временных параметров сейсмозрывных волн как на различных расстояниях от очага взрыва, так и в различных точках конструкций и грунтов их основания. По результатам измерений изменения скоростей колебаний частиц грунта на различных расстояниях определяют эмпирические коэффициенты, характеризующие конкретные горно-геологические условия распространения сейсмических волн, а по сопоставлению частоты с собственными частотами сооружений определяется степень сейсмической опасности массового взрыва.

С помощью измерительной аппаратуры можно получить осциллограммы (зависимость амплитуды скорости от времени) всего колебательного процесса зданий и грунтового основания и установить спектральные характеристики.

Исследования АЧХ сейсмозрывных волн КЗВ проводились по данным сейсмоизмерений, полученным на конструкции и в ее основании, в результате которых строился спектр колебаний конструкции и спектр колебаний грунта в ее основании. При этом в массовых взрывах, которые проводились на гранитных и известняковых карьерах, изменяли величины масс зарядов, взрывааемых мгновенно в группе, и интервалы их замедления.

Анализ экспериментальных данных показал, что волновые процессы при короткозамедленных взрывах, состоящих из множества групп зарядов ВВ, различных по массе, представляют собой сложное явление суперпозиции их импульсов. Спектр сейсмоколебаний таких взрывов также имеет сложную форму. При различных массах зарядов в группе и интервалах времени между вступлением импульсов за счет затухания колебания массива от ранее взорванного заряда изменяется разница между их амплитудами. Поэтому, например, влияние массы заряда и интервала замедления между первой и n -ой группами существенно проявляется в спектре результирующего колебания. При этом, оценив массовую скорость и длительность каждой мгновенно взрывааемой группы в условиях конкретного КЗВ, можно определить количество зарядов ВВ в группе, последовательность его увеличения или уменьшения в различных

интервалах времени замедления и тем самым существенно влиять на интенсивность результирующего колебания.

Посредством подбора масс зарядов в группе и интервала замедления за счет интерференции для одинаковых по общей массе зарядов КЗВ можно получить частотную характеристику колебательного процесса с доминирующими частотами в области высоких или низких частот с различной амплитудой. Практически получить такой результат можно монтажом схем КЗВ с использованием системы инициирования типа «Нонель». Предположим, что одинаковые по общей массе заряда ВВ блоки смонтированы по двум различным схемам КЗВ. По первой схеме коммутации (взрыв № 1) в случае трех зарядов взрывается сначала заряд меньшей массы, затем – большей и, наконец, меньшей, равной массе первого заряда. Назовем эту схему «треугольник вверх». По второй схеме взрывается заряд большей массы (взрыв № 2), затем меньшей и опять большей («треугольник вниз»). При увеличении количества зарядов такое распределение масс сохраняется по двум предложенным схемам. Сейсмоприемники устанавливались на грунтовом основании и на конструкции. Осциллограммы и спектрограммы, полученные в данных точках при проведении массовых взрывов по предложенным схемам, приведены на рис. 1–4.



Рис. 1. Осциллограммы совместного колебательного процесса системы грунт–конструкция при выполнении массовых взрывов (№ 1) на карьере; скорость грунтового основания $U_{\max} = 0,853$ см/с, скорость конструкции $U_{\max} = 0,64$ см/с

Из анализа полученных данных следует, что интенсивность колебаний при переходе сейсмической волны из грунтового основания на конструкцию зависит от АЧХ сейсмовзрывной волны, формируемых различной схемой коммутации. При выполнении первого взрыва (см. рис. 1) максимально полученная скорость колебаний на грунте составила 0,853 см/с, на конструкции – 0,64 см/с, при выполнении взрыва № 2 (см. рис. 2) – 0,37 см/с и 0,452 см/с соответственно.

Общая масса ВВ - 120 кг, на максимальное замедление - 150 кг,
 $U, \text{см/с}$ 11 групп, продолжительность взрыва - 400 мс, расстояние - 380 м

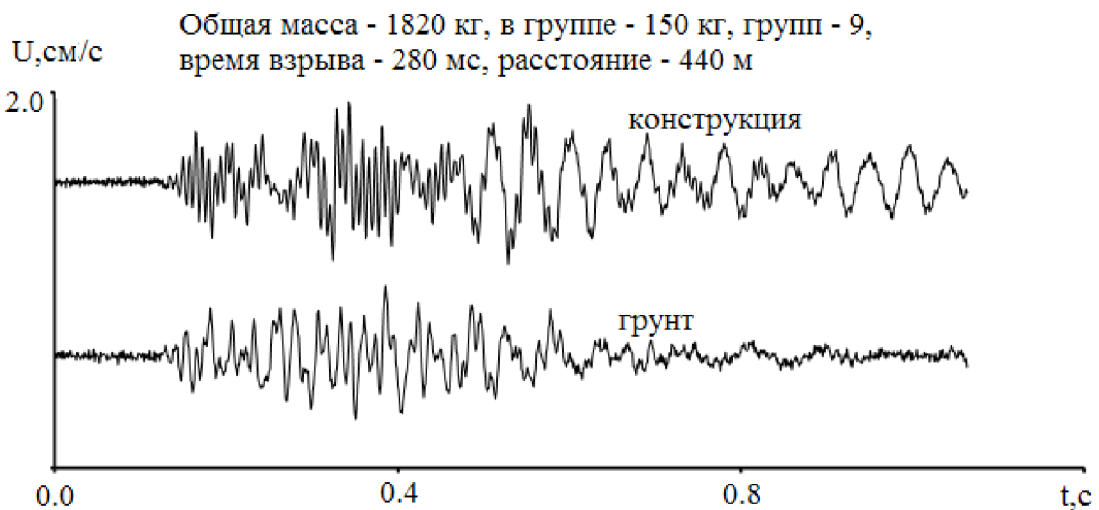
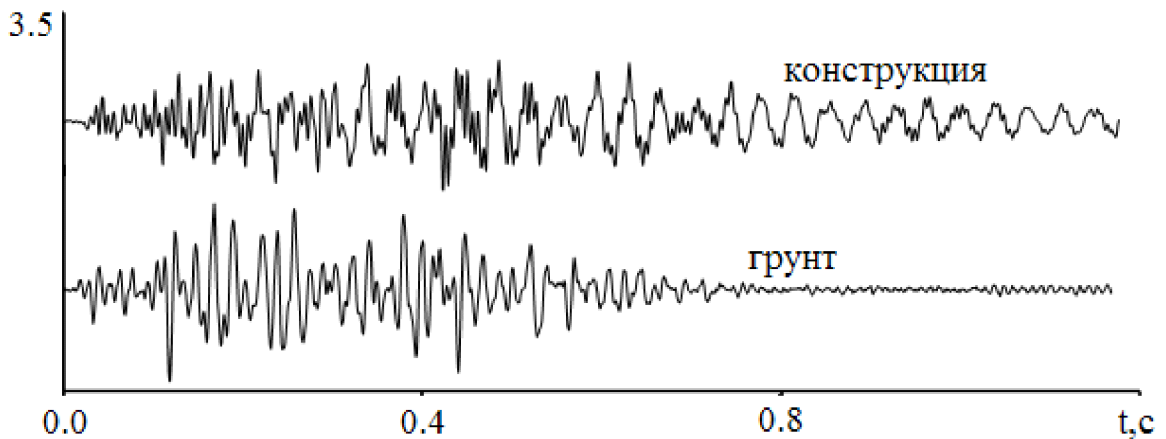


Рис. 2. Осциллограммы совместного колебательного процесса системы грунт–конструкция при выполнении массового взрыва № 2 на карьере. Скорость грунтового основания $U_{\max} = 0,37 \text{ см/с}$, скорость конструкции $U_{\max} = 0,452 \text{ см/с}$

Это отличие можно объяснить на основании анализа полученных АЧХ при коммутации («треугольник вверх») при первом взрыве (рис. 3, а, б), при котором в спектре на грунтовом основании практически отсутствуют преобладающие гармоники, которые бы совпадали с такими же гармониками (рис. 3, а), полученными на конструкции. И наоборот, при втором взрыве («треугольник вниз») (рис. 4, а, б) в спектре на грунтовом основании (рис. 4, б) присутствуют преобладающие гармоники, которые совпадают с гармониками, полученными на конструкции (26 Гц) (рис. 4, а). Поэтому при первом взрыве получено снижение скорости колебаний на конструкции по отношению к грунтовому основанию.

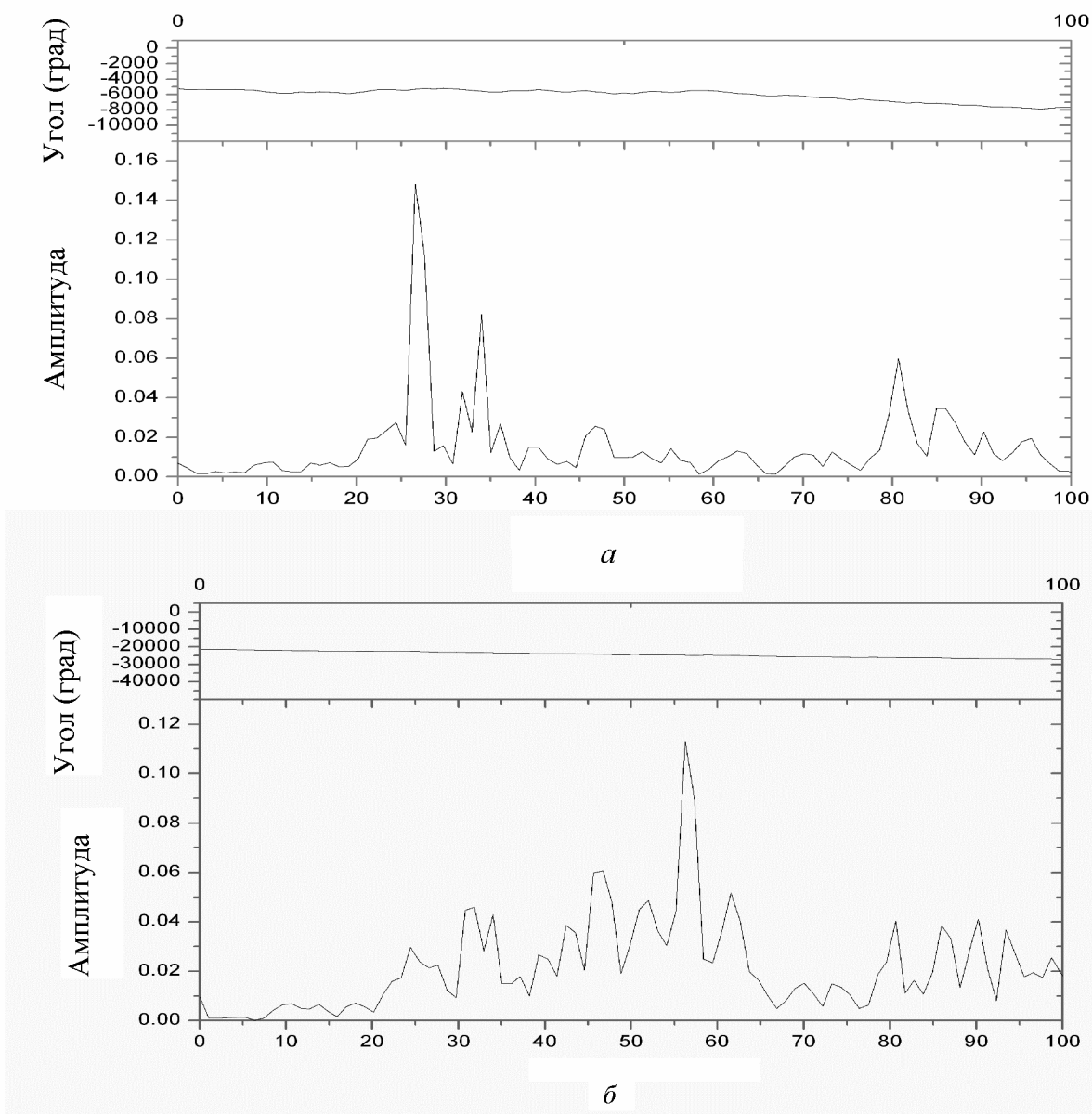


Рис. 3. Амплитудно-частотный спектр колебаний взрыва № 1: *а* – конструкция; *б* – грунтовое основание

Эти эксперименты подтвердили, что управлением АЧХ КЗВ можно снизить интенсивность воздействия СВВ на конструкции путем создания таких коммутаций зарядов, в которых в колебательном спектре частоты колебания грунта и конструкции будут разными. Так, например, превалирующая частота (периоды) колебания грунта при взрыве № 1 – 55 Гц и при взрыве № 2 – 25...92 Гц), а собственные колебания строения – 26 Гц. И если отношение T/T_0 мало, то амплитуда смещения конструкций здания по отношению к амплитуде смещения его основания будет сравнительно небольшой. Экспериментальное подтверждение этой зависимости получено при выполнении первого взрыва. При значениях T , близких к T_0 , амплитуда колебаний достигает максимума и может превысить амплитуду колебаний грунта – это подтверждение получено при выполнении взрыва № 2.

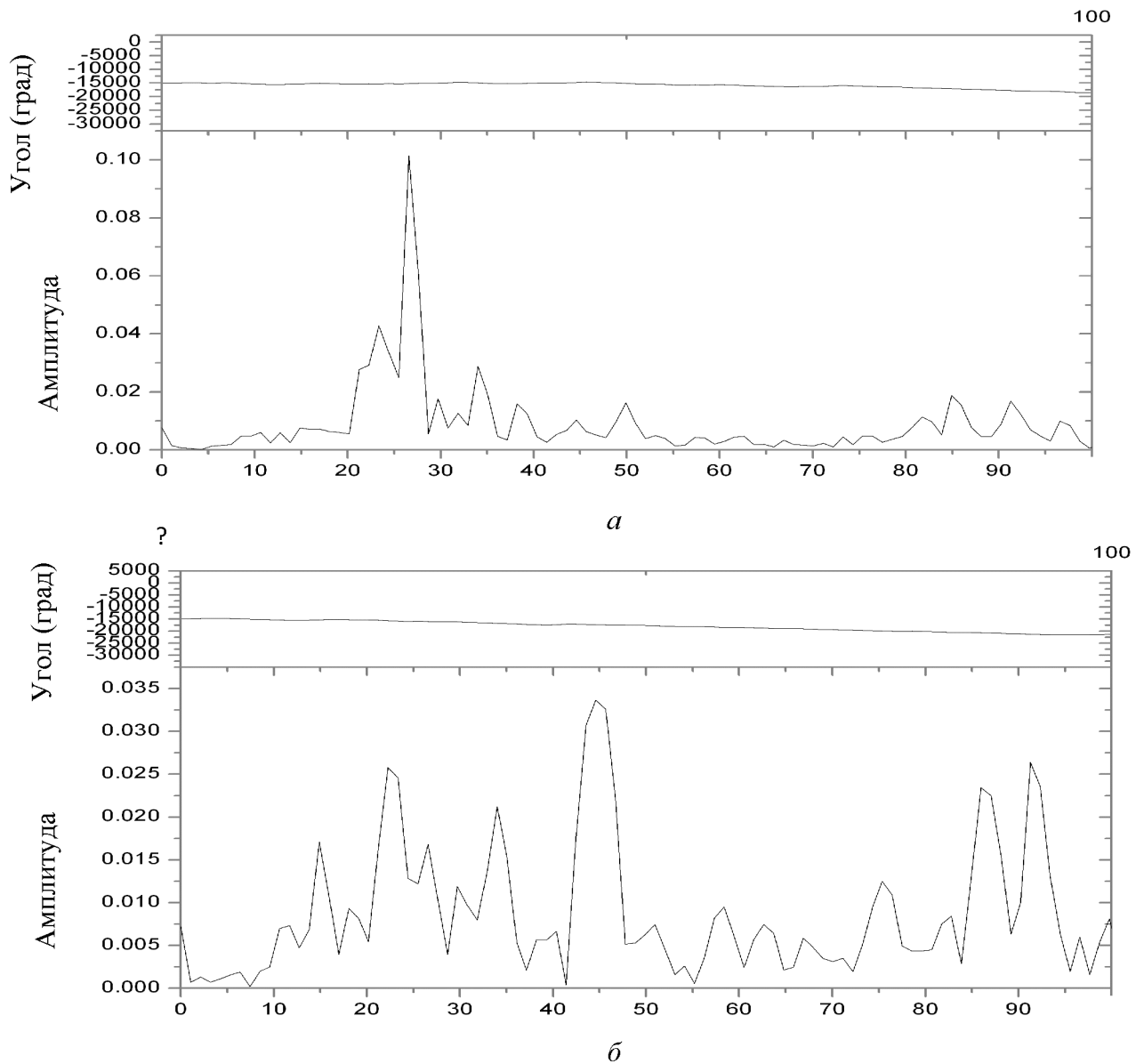


Рис. 4. Амплитудно-частотный спектр колебаний взрыва № 2: *а* – конструкция; *б* – грунтовое основание

Выводы

1. Управление амплитудно-частотным спектром КЗВ на основе изменения во времени масс ВВ, взрываемых мгновенно в группе, достигается монтажом коммутационной сети, в которой массы зарядов в отдельных группах монтируются одного веса, кроме зарядов в начале и в конце взрываемого блока из расчета на 30 % меньше.

2. Энергонасыщенность высокочастотного диапазона достигается в том случае, если каждый из трех зарядов группы находится в вершинах треугольника, а энергонасыщенность низкого диапазона – наоборот.

3. Практическое применение результатов комплексных исследований позволило значительно повысить эффективность и безопасность ведения

взрывных работ на Кашеевском гранитном карьере ОАО «СИПАН» вблизи опоры ЛЕП.

1. *Кравец В. Г.* Исследование амплитудно-частотного спектра при действии взрыва в грунте / В. Г. Кравец, И. И. Денисюк // Использование взрыва при разработке нескальных грунтов. – К.: Наук. думка, 1978. – С. 43–45.

2. *Кучерявый Ю. Ф.* Спектры сейсмоколебаний от промышленных взрывов и их трансформация в ближней зоне / Кучерявый Ю. Ф. // Взрывное дело. – № 85/42.

3. *Кравец В. Г.* Рекомендации по применению сейсмобезопасных методов уплотнения / В. Г. Кравец, Б. Ильясов, И. И. Денисюк и др. // Ашхабад, 1982. – 48 с.

4. *Мельник Г. В.* Регулирование спектра сейсмоколебаний при короткозамедленном взрывании / Г. В. Мельник // Взрывное дело. – М.: Недра, 1983. – С. 48–52.

5. *Харкевич А. А.* Спектры и анализ / Харкевич А. А. // М.: Физматлит, 1962. – 146 с.

6. *Закиров А. Н.* Прогнозирование амплитудно-частотного спектра КЗВ на основе излучения единичного импульса / А. Н. Закиров, Н. Я. Барлас // Горные породы при динамических нагрузках. – К.: Наук. думка. – 1989. – С. 73–77.

7. *Ляшенко В. И.* Прогрессивные технологии управления взрывными работами на горных предприятиях / В. И. Ляшенко, Г. В. Мельник, П. В. Швыдько // Цветная металлургия. Горное дело – М. – 2009. – № 8 – С. 3–11.