

УДК 622.235.6:550.348.098.64(045)(476)

МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕЙСМИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ МАССОВЫХ ВЗРЫВОВ НА КАРЬЕРЕ «МИКАШЕВИЧИ»

Оника С.Г., Гец А.К., Халявкин Ф.Г., Реберт Б.С. (Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь)

В статье представлены результаты исследований сейсмического действия массовых взрывов с использованием вероятностных и компьютерных моделей.

Введение

Оценка сейсмического действия массовых взрывов в теории и на практике в общем случае выполняется как с помощью специальных шкал, так и с применением методов прогноза параметров сейсмических колебаний, определяющих их сейсмическую опасность.

Для характеристики относительной силы землетрясений по их энергии в очаге применяют энергетические классификации. Балльная оценка используется для характеристики интенсивности сотрясений в разных районах земной поверхности. Ее значения соотносятся с ощущениями людей и вызываемыми последствиями сейсмических колебаний для объектов.

Наибольшей популярностью среди энергетических классификаций пользуется шкала К.Рихтера, который ввел понятие магнитуды. Магнитуда характеризует силу землетрясений в очаге, и, в отличие от балльности, ее значения соотносятся не с вызываемыми последствиями колебаний, а с высвобождаемой энергией сейсмических волн в гипоцентральной области. Магнитуда, равная нулю, приблизительно соответствует энергии землетрясений $1,7 \cdot 10^5$ Дж. Увеличение ее на единицу эквивалентно возрастанию количества энергии на каждом шаге примерно в 27 раз по сравнению с предыдущим значением. Например, при толчке с магнитудой М6 высвобождается в 27 раз больше энергии, чем с магнитудой М5 и в 729 раз больше, чем с магнитудой М4.

Для оценки сейсмического действия взрывов в странах Союзного государства и СНГ получила шкала, устанавливающая определенные соотношения между скоростью колебаний, силой сотрясений в баллах и вероятными их последствиями для окружающей среды [1].

Так как силу сотрясений при взрывах в современных шкалах балльности оценивают по масштабам разрушений объектов, то применительно к действующим объектам, включающими жилой массив г. Микашевичи, такой подход не может быть приемлемым, и возникает задача прогноза интенсивности сейсмических колебаний при взрывах, мерой которых служит скорость смещений грунта при взрывах.

Результаты исследований

Большое значение моделирования интенсивности сейсмических колебаний обусловлено:

- развитием техники и технологии горных работ;
- приближением взрывов к охраняемым объектам;
- проблемами рациональной застройки территорий, подверженных сейсмическим колебаниям;

- имеющимися случаями повреждения объектов от сотрясений;
- изменениями условий производства взрывов.

Взрывные работы в карьере «Микашевичи» производятся в соответствии с требованиями «Единых правил безопасности при взрывных работах», «Временной инструкции по организации и ведению массовых взрывов скважинных зарядов на открытых горных работах» и «Типового проекта ведения буровзрывных работ в карьере «Микашевичи».

Из-за большого водопритока водоносного горизонта кристаллических пород и трещиноватости пород большинство скважин обводнено. Высота водяного столба в скважинах изменяется от 3 до 15 м. В связи с этим на зарядку скважин расходуются эмульсионные взрывчатые вещества (ЭВВ) нитрониты марок Э-70, Э-100, а также водоустойчивые ВВ (гранулотол, эмульсен-ГА). Применяют скважины вертикальные. Расположение скважин в плане прямоугольное, квадратное либо в шахматном порядке.

В нижней части относительно сухих скважин и в верхней части обводненных скважин применяются нитронит Э-50. Заряды размещаются в скважинах диаметром 250 мм, 215 мм и 170 мм.

Способ взрывания – неэлектрический. В качестве средств взрывания применяются системы неэлектрического инициирования «ИСКРА».

Устройства ИСКРА-П применяются в магистральных и участковых линиях коммутационной сети. В скважинах применяются устройства ИСКРА-С. В качестве промежуточных детонаторов для инициирования ВВ в скважинах применяются шашки ЗТП-800, ТГ-500, ТГ-П850, ПТП-750, ПТУ-800Л, ПТУ-1000Л.

В зависимости от направления перемещения и конфигурации фронта отбойки применяются схемы короткозамедленного взрывания: диагональная, диагональная с трапецевидным или клиновым врубом и другие.

Конструкция скважинного заряда – сплошная, комбинированная, рассредоточенная.

Охраняемые объекты при взрывах в карьере «Микашевичи» размещены на плоской озерно-аллювиальной равнине с подстилающими рыхлыми породами с высоким уровнем грунтовых вод. Жилой массив г. Микашевичи приурочен к восточной стороне карьера, и с учетом планируемого развития горных работ его приближение к карьере достигнет около 600 метров. К ответственным промышленным объектам следует отнести электрическую подстанцию и хвостохранилище, располагаемые с западной стороны карьера. Однако их удаление от карьера, в том числе с учетом перспективы его расширения, не превысит 1 км. Газопровод высокого давления (1,2 МПа) предназначен для газоснабжения объектов РУПП «Гранит» начинается на северо-восточной окраине г. Микашевичи у существующего газопровода и проходит в западном направлении, пересекая автодорогу Микашевичи – РУПП «Гранит» и железную дорогу на Брест. Далее трасса проходит параллельно железной дороге на запад, сворачивая к северу, вторично пересекая автодорогу и железную дорогу, и заканчивается в районе территории СУ-63, где расположена газораспределительная подстанция (ГРП). Газопровод собран из стальных труб диаметром 200 мм и толщиной стенок 4 мм, на глубине 1,0 м от поверхности.

С учетом низких фильтрационных характеристик грунтов отдельные участки трассы могут подтапливаться тальми и дождевыми водами. Уровень грунтовых вод на большей части трассы выше глубины укладки труб. В соответствии с классификацией Единых правил безопасности при ведении взрывных работ грунты в основании газопровода относятся к водонасыщенным, с максимальным значением коэффициента сейсмичности.

В общем виде скорость смещений грунта при взрывах в упрощенном виде может быть представлена зависимостью [2]:

$$V = K \cdot \frac{\sqrt{Q}}{R^n},$$

где K – коэффициент сейсмичности;

Q – масса заряда на ступень замедления, кг;

R – расстояние до взрыва, м;

n – показатель затухания сейсмических волн с расстоянием, $n = 1,5$.

Коэффициент сейсмичности K в приведенной зависимости носят случайный характер. Его особенное положение определяется тем, что коэффициент сейсмичности оказывает сильное влияние на допустимые параметры взрывов и, как следствие, на технико-экономические показатели работы карьера и, в частности, на производственную мощность карьеров, производительность горного оборудования, себестоимость добычи полезного ископаемого и т.п.

В представленной нами модели сейсмического действия взрыва, с одной стороны, участвуют детерминированные параметры, к которым следует отнести расстояние до взрыва, массу заряда на ступень замедления, показатель затухания скорости смещений с расстоянием, а с другой – параметры, влияющие на результат, но которые в явном виде в модели не определены, и вызывающие случайные изменения коэффициента сейсмичности и, как следствие, изменения скорости смещений грунта. При установленном законе теоретического распределения случайных значений коэффициента сейсмичности возможно компьютерное моделирование сейсмического эффекта, обусловленного влиянием случайных факторов.

Для описания случайных изменений высоты уступов используются различные теоретические распределения. В ряде исследований рассматривается распределение Пирсона III типа, известное также как гамма-распределение. Выполненный нами анализ показывает, что коэффициент сейсмичности подчиняется SL-распределению Джонсона. Знание законов распределения коэффициента сейсмичности позволяет осуществлять его прогнозирование, а с ним – и величину скорости смещения грунта в результате сейсмических колебаний с заданной вероятностью при помощи случайных многократных испытаний, выполняемых на компьютере. Необходимым этапом решения данной задачи является получение случайных значений коэффициента, подчиняющегося установленному распределению с помощью нормированных случайных величин с равномерным или нормальным распределением.

Получение случайных чисел, имеющих заданное распределение, возможно путем использования известных соотношений между теоретическим распределением, которому подчиняется случайная величина, и случайными величинами, имеющими нормальное или равномерное распределение.

Рассмотрим уравнение, связывающее нормированное значение коэффициента сейсмичности с параметрами формы его теоретического распределения, подчиняющегося SL-распределению Джонсона:

$$z = \gamma^* + \eta \ln K.$$

Решая его относительно K получим:

$$z - \gamma^* = \eta \ln K \quad \text{и} \quad \ln K = \frac{z - \gamma^*}{\eta},$$

откуда

$$K = \exp\left(\frac{z - \gamma^*}{\eta}\right),$$

где z – нормированное значение коэффициента сейсмичности, определяемое заданной величиной вероятности отсутствия повреждений. Для вероятности $p = 0,9$ $z = 1,28$;

η, γ^* – параметры формы теоретического распределения коэффициента сейсмичности.

Принимая во внимание, что параметры формы SL-распределения Джонсона эквивалентны $\gamma^* = -\frac{\mu}{\sigma}$, $\eta = \frac{1}{\sigma}$, представим уравнение для случайных значений K в виде:

$$K = \exp(\sigma \cdot z + \mu),$$

где σ – стандартное отклонение SL-распределения Джонсона;

z – нормированная случайная величина, взятая из нормально распределенной совокупности;

μ – средняя SL-распределения Джонсона.

Значения случайной величины z из нормально распределенной совокупности содержатся в специальных таблицах.

Вычислительные эксперименты выполнены для взрывов с массой заряда на ступень замедления, равной 3200 кг, на расстоянии от взрыва 900 м, что можно отнести к типовой ситуации при взрывах на карьере «Микашевичи». Фрагмент результатов статистического моделирования на ЭВМ в среде Excel представлен в нижеследующей таблице.

Таблица. – Результаты моделирования максимальной скорости и амплитуды смещений для уровня вероятности $p = 0,9$

Случайные числа, имеющие нормированное нормальное распределение z	$\sigma \cdot z + \mu$	Коэффициент сейсмичности K	Максимальная скорость смещений $V_{\text{макс}}$, см/с ($p = 0,9$)	Амплитуда смещений максимальная, мм ($p = 0,9$)
1	2	3	4	5
-1,276	5,004884	149,1398	0,31	0,015
-0,318	5,571062	262,713	0,55	0,027
-1,377	4,945193	140,498	0,29	0,015
2,334	7,138394	1259,404	2,64	0,126
-1,136	5,087624	162,0045	0,34	0,015
0,414	6,003674	404,9137	0,85	0,042
-0,494	5,467046	236,7598	0,5	0,024
1,048	6,378368	588,9657	1,23	0,06
0,347	5,964077	389,1936	0,82	0,039
0,637	6,135467	461,9548	0,97	0,045
2,176	7,045016	1147,127	2,4	0,114
-1,185	5,058665	157,3803	0,33	0,015
0,972	6,333452	563,0971	1,18	0,057
1,21	6,47411	648,1421	1,36	0,066
2,647	7,323377	1515,313	3,17	0,15

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5
0,398	5,994218	401,1029	0,84	0,039
0,846	6,258986	522,6887	1,1	0,054
0,654	6,145514	466,6194	0,98	0,048
0,522	6,067502	431,6012	0,9	0,042
-1,288	4,997792	148,0858	0,31	0,015
1,372	6,569852	713,2643	1,49	0,072
0,854	6,263714	525,1658	1,1	0,054
-0,148	5,671532	290,4792	0,61	0,03
-1,148	5,080532	160,8596	0,34	0,015
0,348	5,964668	389,4237	0,82	0,039
0,284	5,926844	374,9692	0,79	0,039
-1,016	5,158544	173,9111	0,36	0,018
1,603	6,706373	817,5998	1,71	0,081

Из анализа таблицы следует, что в ряде случаев, из представленных в таблице, скорость смещения превысила 1,5 см/с. Следовательно, результаты вычислительного эксперимента позволяют без производства промышленных экспериментов принять решение о необходимости корректировки допустимой массы взрывающего ВВ на ступень замедления для охраняемых объектов с допустимой скоростью 1,5 см/с (городской поселок). Оценка параметров сейсмических колебаний по приведенным выше методикам в районе охраняемых объектов с учетом планируемого расширения границ карьера и приближения его к объектам до 900 м при типовых параметрах взрывов показывает, что максимальная амплитуда смещения может достигать значений 0,15 мм при преобладающем периоде смещений 0,3 с.

Представляет интерес сравнение полученных данных с результатами компьютерного моделирования параметров колебаний при взрывах.

Моделирование сейсмического эффекта взрывов выполнено с помощью компьютеризированной системы выполнения исследовательских и проектных задач горной сейсмологии [2]. Система позволяет в созданной базе данных «Параметры взрывов – параметры колебаний» по заданным ограничениям (так называемой «заявке») сформировать файл, содержащий систематизированные данные по требуемым параметрам взрывов и вызываемым ими колебаниям.

Ограничения на поиск в базе данных требуемых параметров сформированы нами, исходя из применяемых на практике в гранитном карьере типовых параметров взрывов: общая масса ВВ на взрыв – 80 т, число ступеней замедления – 25, максимальная масса ВВ на ступень замедления – 3200 кг, расстояние 100-1000 м. Скорость смещений грунта задана в интервале 0,1-24 см/с, амплитуда – 0,01-10 мм, период – любой.

Результаты моделирования сейсмического эффекта представлены в виде графика, отражающего ожидаемые амплитуды смещения грунта (мм) в зависимости от расстояния (рисунок).

Из графика видно, что в диапазоне примерно 600-900 м возможная амплитуда колебаний грунта с высокой вероятностью ($p = 0,9$) не превысит 0,2 мм, что неплохо согласуется с результатами моделирования методом случайных чисел.



Рисунок. – Результаты моделирования сейсмического эффекта взрывов в карьере «Микашевичи» (зависимость амплитуды смещения грунта от расстояния)

Заключение

Оценка сейсмического действия массовых взрывов возможна на основе применения современных вероятностных и компьютерных моделей с использованием методов теории случайных чисел и компьютерных баз данных «Параметры взрывов – параметры колебаний».

Список цитированных источников

1. Медведев, С.В. Сейсмика горных взрывов / С.В. Медведев. – М.: Недра 1964. – 187 с.
2. Оника, С.Г. Взрывы вблизи объектов / С.Г. Оника. – Минск: Тэхналогія 2006. – 183 с.

Onika S.G., Gets A.K., Khalyavkin F.G., Rebert B.S.

Modeling of a shock effect of large-scale blasts on Mikashevichi opencast mine

The article presents the results of studies of a shock effect of large-scale blasts using probability models and computational models.

Поступила в редакцию 07.04.2016 г.