

В роботі обґрунтовано умови сейсмічної стійкості масиву порід з порожнинами, на якому розташовуються об'єкти, що охороняються при постійних сейсмічних впливах від масових вибухів. Визначені закономірності спільної дії статичних і динамічних навантажень в масиві порід при падінні фронту плоскої хвилі на порожнину під різними кутами у разі розташування над порожнинами об'єктів

Ключові слова: вибух, динаміка, навантаження, порожнина, сейсмобезпека, сейсмічна хвиля, статика, стійкість

В работе обоснованы условия сейсмической устойчивости массива пород с полостями, на котором располагаются охраняемые объекты при постоянных сейсмических воздействиях от массовых взрывов. Определены закономерности совместного действия статических и динамических нагрузок в массиве пород при падении фронта плоской волны на полость под разными углами при расположении над пустотами объектов

Ключевые слова: взрыв, динамика, нагрузка, полость, сейсмобезопасность, сейсмическая волна, статика, устойчивость

УДК 622.235.535

ВЛИЯНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЗРЫВОВ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ГОРНЫХ МАССИВОВ С ПОЛОСТЯМИ

А. М. Пасечник

Аспирант

Кафедра инженерной экологии

Национальный технический университет

Украины «Киевский

политехнический институт»

пр. Победы, 37, г. Киев, Украина, 03056

E-mail: paas@ukr.net

1. Введение

С выходом украинских горнодобывающих предприятий на новые мировые рынки сбыта продукции увеличилась интенсивность работы предприятий и, как следствие их эффективность. Но параллельно с положительными тенденциями так же начали расти и отрицательные факторы, такие как экологические нарушения окружающей среды, и из-за увеличения интенсивности горных работ возросла динамика воздействия сейсмических волн от взрывов на массив и сооружения находящиеся в близлежащей зоне. Ситуация может усложняться наличием полостей на пути распространения сейсмозрывных волн в направлении объекта. Поэтому актуальным вопросом безопасности является сохранность сооружений и зданий, которые находятся в зоне проведения массовых взрывов на карьерах. Для чего необходимо установить закономерности влияния статических и динамических нагрузок на устойчивость массива с полостями.

2. Анализ исследований и публикаций

В горнодобывающей промышленности достигнуты положительные результаты исследований по выявлению закономерностей распространения сейсмических волн при взрывах в различных горно-технологических условиях горнодобывающих предприятий и разработанные на их основе практические рекомендации по обоснованию сейсмобезопасных параметров взрывных работ в стесненных условиях карьеров [1, 2]. Совершенствование физических основ горной сейсмоки остается актуальной задачей и обуславливает проведение дальнейших исследований в данном направле-

нии с учетом комплекса факторов, влияющих на этот физический процесс. Созданы современные компьютерные модели процесса распространения сейсмических волн по массиву пород [3].

Для обеспечения безопасности и сохранности разных зданий и промышленных объектов при проектировании взрывных работ используют различные современные физические, информационные и расчетно-аналитические методы [4]. Основными факторами, которые несут наибольшую опасность для охраняемых объектов есть сейсмические волны, разлет кусков пород, сейсмический эффект взрыва, тепловое воздействие [5]. Факторами, необходимыми для оценки сейсмобезопасности зданий и сооружений, являются размеры зон деформаций, период колебаний, спектральные характеристики, массовая скорость частиц грунта в зависимости от величины заряда, свойства и состояния массива горных пород [6].

В международной практике при проведении массовых взрывов и воздействия на него разного рода сейсмических волн принято за основной критерий устойчивости горного массива скорость смещения частичек грунта [7]. На распространение сейсмических волн в горном массиве существенное влияние оказывают имеющиеся в них преграды [8]. Чаще всего встречаются пустоты разных размеров и форм, заполненных воздухом и водой [9].

3. Формирование целей и задач

В приведенном обзоре отсутствует достаточно полное теоретическое обоснование закономерностей распространения сейсмических колебаний при взрывах в массиве скальных пород с природными и ис-

куственными полостями (карсты, подземные горные выработки). Также не выявлено влияния полостей на устойчивость расположенных над ними объектов, охраняемых при распространении сейсмозрывных волн. Не установлено зависимости динамических и статических нагрузок от воздействия сейсмических волн, которые распространяются по массиву пород с полостями. Недостаточно раскрыты процессы распределения напряжений вокруг полости после прохождения сейсмической волной ее границ.

Исходя из выполненного анализа результатов исследований с целью оценки методов и средств снижения сейсмического действия промышленных взрывов в горном массиве с полостями, определены цели и задачи исследований.

Целью работы является обоснование сейсмостойкости массива горных пород с природными и искусственными пустотами с учетом сезонности взрывных работ на карьерах. Для достижения поставленной цели решены следующие задачи: определены закономерности влияния статических нагрузок от масс потолочины полости и охраняемого объекта, расположенного над ней; установлены закономерности совместного действия статических и динамических нагрузок при взаимодействии сейсмозрывных волн с полостями в горном массиве и расположенными над ними объектами.

4. Установление теоретических закономерностей

Горно-геологической особенностью района, в котором проводились исследования, является возможное расположение жилых домов над карстами. В этом случае устойчивость зданий определяется в первую очередь их массой и мощностью слоя пород, который находится между потолочиной карста и основой здания. Дополнительное снижение устойчивости объектов обуславливает воздействием на них сейсмозрывных волн. Это влияние меняется в зависимости от того, в какое время года проводятся взрывные работы. Поэтому для снижения сейсмической опасности взрывов необходимо формировать волновой пакет с минимальными энергетическими параметрами. Если же энергонасыщенность этой части спектра сейсмической волны существенно увеличивается при прохождении через слой грунта над полостью и основой сооружения, то в этом случае возбуждаются резонансные колебания, которые могут приводить к серьезным повреждениям и даже разрушению объектов, как показано на рис. 1 [10].

Разрушения горного массива с полостью может произойти в первой ситуации в результате достижения возле нее напряженно-деформированным состоянием пределов прочности. Во второй ситуации возле полостей за счет напряженно-деформированного состояния горных пород наступает локальная потеря устойчивости состояния равновесия, что приводит к разрушению массива.

Принимая во внимание, что полость теряет устойчивость в какой-либо точке ее поверхности, то реализуется условие учета совместного статического и динамического критериев устойчивости [11]:

$$\sigma_s + \sigma_D \geq [\sigma]$$



Рис. 1. Провал жилого дома в полость

Распределение динамических напряжений является осесимметричным относительно нормали к сферической поверхности, проведенной через лобовую точку встречи плоского фронта волны и полости. Суммарное напряженно-деформированное состояние, возникшее за счет суперпозиции статических и динамических напряжений, является неосесимметричным и требует его анализа по всему периметру диаметрального сечения полости.

Устойчивость объекта над полостью в горном массиве зависит от устойчивости полости, определяемой мощностью слоя пород h между основанием объекта и потолочиной полости, и характера воздействия динамических нагрузок при взрывах (рис. 2).

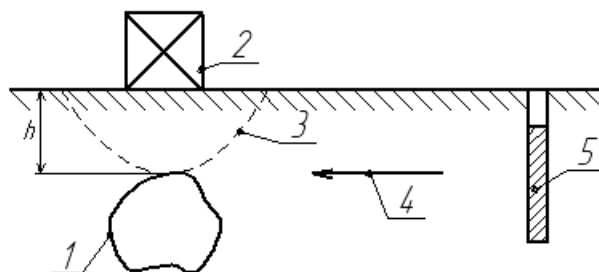


Рис. 2. Характерная схема расположения полости в горном массиве при открытой разработке: 1 – полость (горная выработка, карст); 2 – объект на поверхности; 3 – контур воронки обрушения; 4 – направление распространения динамических нагрузок; 5 – заряд взрывчатых веществ

Поскольку горная порода является упругой средой, для ее описания выбраны уравнения движения элемента упругой среды, которые описывают ее динамическое поведение при возмущениях. При компьютерном моделировании устойчивости массивов горных пород в окрестности полостей под действием сейсмических волн с учетом наличия предварительных напряжений от горного давления или наземных сооружений, определяют поля напряжений и деформаций под действием сил гравитации или массы зданий во всей области поперечного сечения полости методом комплексных переменных или биполярных координат и далее определяют параметры взаимодействия плоской сейсмической волны с граничной поверхностью полости. На этом этапе лучевым методом в теории волновой динамики строятся эволюционирующие фронты сейсмозрывных волн и подсчитывают ударные импульсы на их поверхностях [12].

Принято, что в изотропном упругом массиве расположена полость, которая моделируется сферой с поверхностью, свободной от напряжений. На полость действует масса потолочины и напряжение от расположенного над ней объекта. Напряженно-деформированное состояние в плоскости описывается уравнениями плоской теории упругости. Разрушение может произойти при достижении пределов прочности горного массива.

В случае взаимодействия плоских волн с полостями различной конфигурации эта задача сводится к падению плоских волн под прямым углом к поверхности раздела слоев. Скачок безразмерного напряжения σ_- (рис. 3) на фронте волны определяется мощностью произведенного взрыва. Фронт волны со скачком напряжения σ_- перпендикулярен оси z , которая параллельна дневной поверхности. Распределение напряжений σ_θ , отнесенного к напряжению σ_- в падающей волне, по поверхности пустотелой полости в ее диаметральной сечении показано на рис. 4.

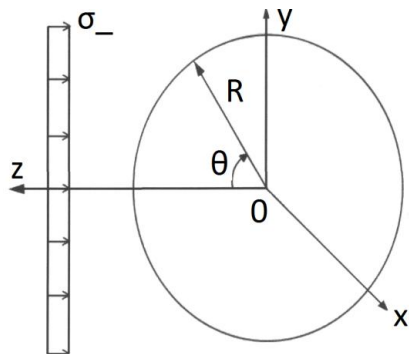


Рис. 3. Схема действия напряжений на полость, где R – радиус полости, м; σ_- – напряжения в падающей волне, Па; θ – сферическая координата на поверхности полости, град; x, y, z – координатные оси, м

Для моделирования явлений отражения и преломления нестационарных волн на поверхностях раздела пород с различными механическими свойствами строились системы лучей прошедших и отраженных волн и с помощью лучевого метода устанавливалась величина импульса оказывающая нагрузку на полость [12]. В этих случаях уравнение пути, пройденного волной,

описывает поверхность фронта волны, нулевой член определяет величину разрыва определяющих функций, а остальные члены ряда описывают изменение давления за фронтом. Установление таких закономерностей позволяет описывать напряженное состояние. Высокие значения градиентов полей напряжений и деформаций на фронтах этих волн затрудняют применение для их описания традиционных аналитических и численных методов, что обуславливает необходимость построения их профилей в классе разрывных функций.

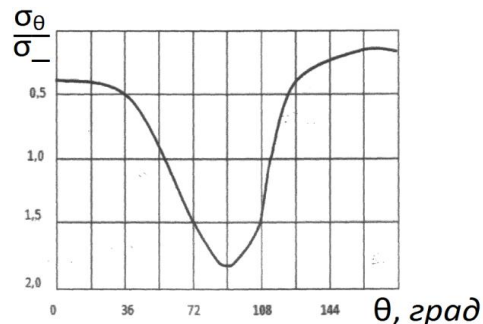


Рис. 4. Зависимость суммарного напряжения отнесенного к напряжению в падающей волне σ_θ / σ_- от координаты θ на поверхности полости

В результате исследований напряжений вокруг полости установлено, что наиболее опасным является случай, когда фронт плоской сейсмозрывной волны перпендикулярен дневной поверхности. Когда лобовая точка определяется произвольно заданным углом $\theta = 36^\circ$, наиболее опасными являются точки с координатами на поверхности полости $\theta = 38^\circ, \theta = 202^\circ$ (рис. 5).

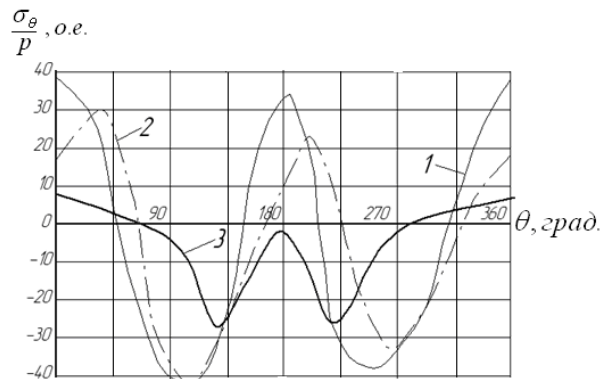


Рис. 5. Зависимость суммарных напряжений отнесенных к напряжению от объекта σ_θ / ρ , от координаты на поверхности полости θ при разных углах падения фронта волны: 1 - при $\theta = 0^\circ$; 2 – при $\theta = 36^\circ$; 3 – при $\theta = 90^\circ$

Распределение суммарных напряжений σ_θ по периметру диаметрального сечения пустотелой полости отнесенного к нагрузке от расположенного над ним объекта p для случая, когда фронт плоской взрывной волны параллелен дневной поверхности наименее опасно для ее разрушения. Зоны наибольших напряжений и веерообразного начала разрушения полости приведены на рис. 6 для случаев падения фронта волны параллельно дневной поверхности (рис.6, а, г), под произвольным

углом 36° (рис.6, б, д) и перпендикулярно под углом 90° (рис.6, в, е).

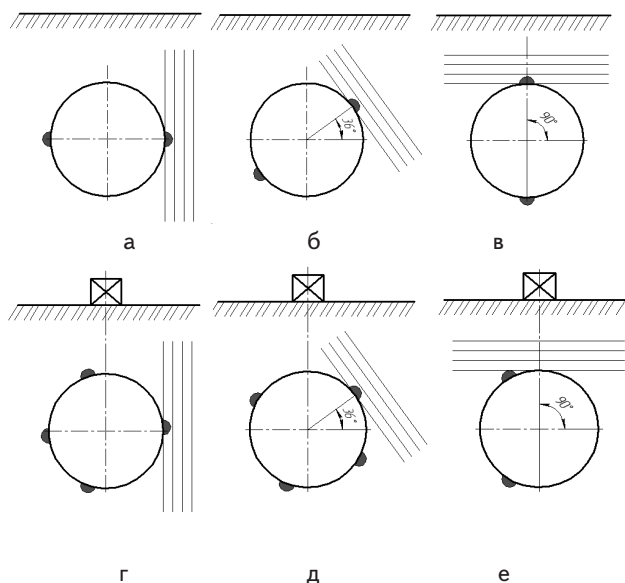


Рис. 6. Схемы зон наибольших напряжений: а, б, в – в падающей волне; г, д, е – суммарных напряжений вокруг полости при расположении сверху объекта

На схеме рис. 7 изображены точки наибольших напряжений для случаев падения фронта сейсмозрывной волны под углами 0° (рис. 7 а, г), -36° , когда фронт волны подходит с нижней стороны полости (рис. 7 б, д) и -90° перпендикулярно дневной поверхности снизу (рис. 7 в, е), т.е. источник сейсмических волн находится на большой глубине (случай проведения взрывных работ в глубоких карьерах).

Установлено, что случаи падения фронта волны снизу более опасны чем, со стороны дневной поверхности, так как более сильно перераспределяют напряжения в районе потолочины массива. Самым опасным является падение фронта волны перпендикулярно дневной поверхности, но он маловероятный, так как взрывные работы проводят обычно на определенных расстояниях от охраняемых объектов, опасность пред-

ставляет распространение сейсмозрывных волн с глубоких карьеров (рис 6. д).

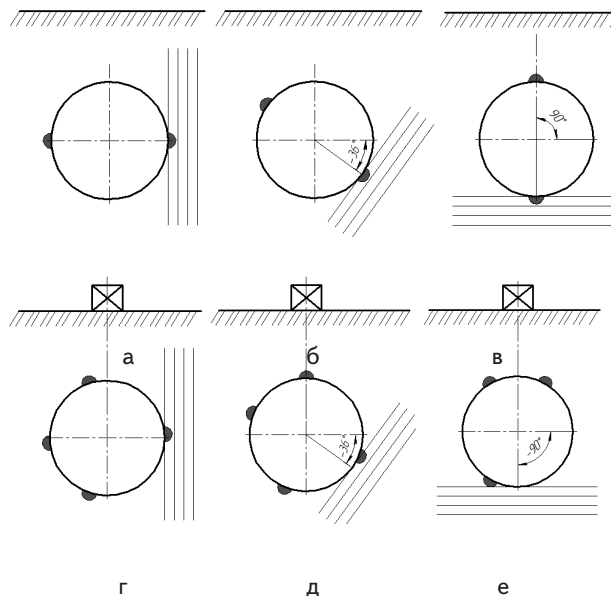


Рис. 7. Схемы зон наибольших напряжений: а, б, в – в падающей волне; г, д, е – суммарных напряжений вокруг полости при расположении над ней объекта

5. Выводы

В результате исследований определено совместное влияние массы потолочины полости и массы охраняемого объекта, расположенного над сферической полостью для определения условий стойкости системы. Установлено распределение поля напряжений вокруг полости при воздействии в динамике продольных и поперечных волн от проведения массовых взрывов на карьере. Установлены закономерности совместного влияния статических и динамических нагрузок на стойкость объектов, при распространении сейсмозрывных волн на пути движения которых, расположены полости различных параметров и падение на полость волны под различными углами.

Литература

1. Allard, P. Mesures sismiques dans L'environnement des tirs [Текст] / P. Allard // Mines et carriers. – 2002. – 84, Mars. – P. 49–51.
2. Уайт, Дж. Э. Возбуждение и распространение сейсмических волн: Пер. с англ. О. В. Павловой и С. В. Гольдина [Текст] / Дж.Э. Уайт. – М.: Недра, 1986. – 261 с.
3. Stevens, L. Seismic wave generation and propagation from complex 3D explosion sources [Текст] / L. Stevens, J. O'Brien, M. O'Brien // Monitoring Research Review: Ground-Based Nuclear Explosion Monitoring Technologies. – 2011.
4. Karlheinz, A. Entwicklung der Regeln zur Beurteilung von Sprengerschütten auf bauliche Anlagen [Текст] / A. Karlheinz // Naturstein Ind. – 1997. – 33, № 8. – P. 22–24.
5. Baron, R. Threshold values for blast damage assessment [Текст] / Baron R. // Tunnels and Tunnelling. - 1994. - 26, № 5. - P. 46-47.
6. Farnfield, R. A. Research into the effect of surface mine blasting on buildings: Long term, monitoring projects [Текст] / R. A. Farnfield // Mining Eng. -1993. - 152, № 380. - P. 319-323.
7. Serhan Samir, J. Current seismic design criteria in the USA [Текст] / Serhan Samir J. // Technol. for Competit. World: Proc. Amer. Power Conf. Chicago, III. – 1995. – pp. 400–405.
8. Звягильский, Е. А. Предотвращение провалов земной поверхности над заброшенными шахтами [Текст] / Е. А. Звягильский // Уголь Украины. – 1999. – № 5. – С. 23–25.

9. Пасечник, А.М. Условия устойчивости карстовых полостей в горном массиве при статических нагрузках [Текст] / А.М. Пасечник // Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва. – 2008. - Вип. №2/2008(2). – С. 102-110.
10. Дослідження впливу підричних робіт на прилеглі до кар'єрів ВАТ «Миколаївцемент» будівлі та споруди населених пунктів та розробка рекомендацій щодо їх сейсмотехнічного проведення [Текст] : Звіт про НДР (заключ.)/ ННДІОП; № ДР 0106U007694; Інв. № 0207U06084. – К.: 2006. – 85 с.
11. Воробьев, В.Д. Исследование сейсмического действия массовых взрывов в различное время года при разработке Песковско-го месторождения гипса [Текст]/ В.Д. Воробьев, А.И. Крючков, А.М. Пасечник, Р.М. Сидор//Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво»: Зб.наук.праць. – 2008. Вип. 17. - С. 25-34.
12. Воробьева, Л.Д. Закономерности взаимодействия сейсмозрывных волн с закарстованным массивом горных пород [Текст] / Л.Д. Воробьева, Н.Н. Ткач, А.М. Пасечник, Н.И. Жукова// Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва. – 2009. - Вип. №1/2009(3). – С. 63-70.