

Рис. 4. Графіки залежності оптимального діапазону регулювання швидкості і відносного економічного ефекту від коефіцієнта завантаження

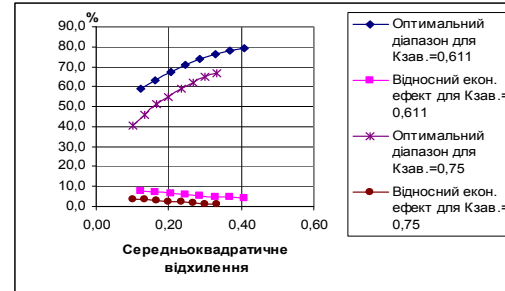


Рис. 5. Графіки залежності оптимального діапазону регулювання швидкості і відносного економічного ефекту від варіації навантаження конвеєра

Висновки та напрямок подальших досліджень. У результаті аналізу графіків можна зробити висновок, що регулювання швидкості конвеєрів доцільно при значеннях середнього навантаження $Q_{ср.} < (0,7-0,75)Q_n$. Відносний економічний ефект має максимум при $k_{зав.} = 0,35-0,4$.

Збільшення варіації навантаження конвеєрів призводить до необхідності збільшення діапазону регулювання швидкості, при цьому відносний економічний ефект знижується.

У будь-якому випадку для підвищення ефективності регулювання швидкості конвеєрів необхідно вживати заходів для стабілізації вхідного вантажопотоку (зниження варіації навантаження).

При незмінному середньому значенні навантаження конвеєра і зниженні в 2 рази середнього квадратичного відхилення економічний ефект регулювання швидкості зростає в 1,7-2,0 рази, а діапазон регулювання швидкості конвеєра може бути скорочений на 15-20%.

Список літератури

1. Мазур І. Энергоемність валового внутрішнього продукту України: передумови зниження // Вісник ТНЕУ. – 2012. – №1. – С.54-71.
2. Черемушкина М.С., Козярук А.Е. Повышение безопасности и эффективности управления многодвигательным электроприводом конвейерного транспорта // В сб.: Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Т.2. – 2007. – С. 108-112.
3. Назаренко В.М., Савицкий А.И., Сокольников Ю.А. Система управления регулируемым приводом тяжелых ленточных конвейеров // Горная электромеханика и автоматика. – 1985. – №46. – С. 84-90.
4. Волотковский В.С. и др., Износ и долговечность конвейерных лент. – М.: Недра, 1976. – 174с.
5. Кречнев Э.Г., Селищев Ю.А. Об экономической эффективности применения регулируемых приводов в ленточных типажных конвейерах // В сб.: Конвейерный и рельсовый транспорт в горной промышленности. – 1968. – С. 81-87.
6. Бабочкин Г.И. Энергосбережение в электроприводе конвейера // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2002. – №1. – С. 122-125.
7. Назаренко В.М. О колебании грузопотоков поточно-транспортных систем дробильных фабрик ГОКов // Известия ВУЗов. Горный журнал. – 1977. – №9. – С. 138-143.
8. Энергосберегающая технология электроснабжения народного хозяйства: В 5 книгах: Практ. пособие / Под ред. В.А. Веникова. – М.: Высшая школа, 1989. – Кн. 2: Энергосбережение в электроприводе / Н.Ф. Ильинский, Ю.В. Рожанковский, А.О. Горнов. – 127 с.

Рукопис подано до редакції 06.01.14

УДК 622.235: 622.271

К.А. ФЕДИН, аспирант, «Криворожский национальный университет

ЧИСЛЕННАЯ ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОГО ВЛИЯНИЯ МАССОВЫХ ВЗРЫВОВ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ПОРОДНЫХ УСТУПОВ

С учетом анализа ранее выполненных работ, получены аналитические выражения для определения степени устойчивости открытых горных выработок с учетом сейсмического воздействия на них массовых взрывов. Определены параметры БВР, использование которых обеспечивает долговременную устойчивость уступов и групп уступов на карьерах.

Постановка научной задачи. Степень устойчивости открытых горных выработок определяется, как правило, либо при проектировании горных предприятий, либо при их реконструк-

ции [3]. Так при реконструкции транспортной системы карьера ОАО «ЮГОК» для поддержания его производственной мощности возникла необходимость в строительстве спиралевидной полутраншеи для глубокого ввода железнодорожного транспорта.

Это строительство, особенно в районе восточного борта, необходимо производить в условиях ограниченной рабочей зоны и неблагоприятных горно-геологических условиях (наличие поверхностей ослабления с падением в карьер и близкорасположенного жилого поселка). Поэтому численная оценка сейсмического влияния массовых взрывов на устойчивость породных уступов для определения безопасных параметров БВР при их строительстве, является актуальной научной задачей.

Анализ ранее выполненных работ. Анализ литературных источников показывает, что при расчетах устойчивости уступов и бортов карьеров, как правило, используются инженерные методы, которые базируются на основных положениях теории предельного равновесия и рекомендованы в качестве нормативных [1,2].

Базовое положение этих методов основано на том, что предельное равновесие обеспечивается не во всех точках некоторой области массива, а только по ее внутренней границе (наиболее вероятной поверхности скольжения), для которой определяется величина удерживающих $\Sigma F_{уд}$ и сдвигающих $\Sigma F_{сдв}$ сил. Их отношение и определяет величину коэффициента запаса устойчивости n_3 по данной поверхности сдвижения

$$n_3 = \Sigma F_{уд} / \Sigma F_{сдв} \quad (1)$$

Считается, что если $n_3 > 1$, то породный откос устойчив, если $n_3 < 1$, то откос неустойчив. При $n_3 = 1$ породный откос находится в состоянии предельного равновесия.

Численное значение величины удерживающих сил определяется принятой гипотезой прочности горных пород. При расчетах устойчивости открытых горных выработок, как правило, используется гипотеза Кулона-Мора, в соответствии с которой величина удерживающих сил может быть определена из соотношения [6]

$$\Sigma F_{уд} = \sum_{i=1}^n m_i g \cos \beta_i \cdot \operatorname{tg} \varphi_i + \sum_{i=1}^n C_i \ell_i \quad (2)$$

где m_i - масса элементарных блоков, на которые разделяется призма вероятного сдвижения, Н; g - ускорение свободного падения, м/с²; ℓ_i - площадь основания элементарных блоков, м²; β_i - угол наклона основания элементарных блоков, град; φ_i - угол внутреннего трения по поверхности скольжения, град; C_i - коэффициент молекулярного сцепления по поверхности элементарных блоков, Па.

Сдвигающие силы определяются суммой внутренних (гравитационные, сейсмические, гидравлические и т.д.) и внешних сил (нагрузка от горного оборудования и т.д.).

Величина гравитационных сил обусловлена массой горной породы, в пределах призмы вероятного сдвижения, и их определение не представляет существенных затруднений в соответствии с выбранной расчетной схемой [2].

Однако определение сейсмического влияния, вызванного проведением массовых взрывов, на устойчивость уступов и групп уступов в настоящее время мало изученный вопрос.

В отмеченных методических указаниях отмечается только факт отрицательного влияния сейсмике массовых взрывов на устойчивость открытых горных выработок, однако аналитических выражений для численного определения этого влияние не приводится.

Физико-математическая модель. Как известно взрыв зарядов ВВ в уступе выполняет не только полезную работу по дроблению горных пород, но также оказывает существенное воздействие на прилегающую, к взрывному блоку, часть породного массива.

При этом под сейсмическими силами подразумевается силовое воздействие на горные породы, обусловленное выделением значительного количества энергии при осуществлении массового взрыва, в результате чего через породный массив распространяются сейсмические волны, которые вызывают колебание обособленных частей породного массива.

Эти колебательные процессы характеризуются скоростью V и ускорением a колеблющихся частиц горной породы.

В соответствии со вторым законом Ньютона, ускорение определяет величину силы инерции F_u действующей на колеблющиеся частицы горной породы

$$F_u = - m_i a_i \quad (4)$$

где m_i - масса колеблющейся части породного массива, кг.

Распределение векторов скорости и ускорений при распространении сейсмических волн в породных массивах в аналитических функциях вряд ли может быть описано и может быть охарактеризовано, как близкое хаотичному.

В связи с этим, при определении направления вектора силы инерции мы будем выбирать такое, которое наиболее неблагоприятно с точки зрения устойчивости породного откоса, а именно по касательной к вероятной поверхности сдвижения в сторону выработанного пространства (рис. 1).

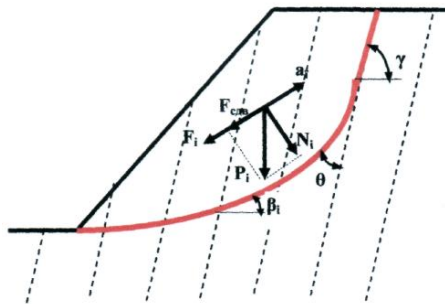


Рис. 1. Схема к расчету устойчивости откоса при наличии крутопадающих поверхностей ослабления и сил инерции

Все другие возможные направления сил инерции будут направлены более благоприятно с точки зрения устойчивости, поскольку приведут к ее уменьшению и увеличению коэффициента запаса устойчивости породного откоса.

Тогда величина сдвигающих сил, действующих по вероятной поверхности скольжения, может быть определена из аналитического выражения (5), а степень устойчивости породного откоса с учетом сейсмического воздействия на него массовых взрывов, из выражения (6)

$$\sum F_{сдв} = \sum_{i=1}^n m_i g \sin \beta_i + \sum_{i=1}^n m_i a_i, \quad (5)$$

$$n_3 = \frac{\sum_{i=1}^n m_i g \cos \beta_i \cdot \operatorname{tg} \varphi_i + \sum_{i=1}^n C_i l_i}{\sum_{i=1}^n m_i g \sin \beta_i + \sum_{i=1}^n m_i a_i}, \quad (6)$$

где a_i - ускорение с которым колеблются элементарные блоки, на которые разбита призма вероятного сдвижения, м/с; n_3 - коэффициент запаса устойчивости, доли ед.

Для определения численного значения ускорения, с которым колеблются части породного массива при массовых взрывах, воспользуемся результатами их сейсмического мониторинга.

Так в результате анализа результатов сейсмического мониторинга массовых взрывов, определены и приведены в работах [7-9] данные о фактически наблюдаемых скоростях сейсмических колебаний и их зависимости от величины приведенного заряда ВВ.

Для горно-геологических условий в районе восточного борта карьера ОАО «ЮГОК» выше указанная зависимость, описывается следующей эмпирической закономерностью

$$V = k \left(\sqrt[3]{q} / r \right)^n, \quad (7)$$

где V - скорость сейсмических колебаний, м/с; q - масса ВВ приходящаяся на ступень замедления, кг; r - расстояние от массового взрыва до точки наблюдения, м; k, n - эмпирические коэффициенты, характеризующие сейсмические свойства породного массива и в данном случае равные $k=21,1; n=1,86$.

Учитывая общеизвестное соотношение между скоростью и ускорением колеблющегося тела, получим

$$a = V \cdot \omega = \frac{2\pi \cdot V}{T} = \frac{2\pi}{T} k \left(\frac{\sqrt[3]{q}}{r} \right)^n, \quad (8)$$

где T - период колебаний, с.

В работе [7] приведены результаты экспериментального определения периода сейсмических колебаний породного массива в районе восточного борта карьера ОАО «ЮГОК». Статистический анализ полученных результатов показал, что данный параметр равен $T=33,5 \pm 6,8$ мс.

Относительная ошибка определения этого параметра 20,4 %.

При этом необходимо отметить, что период сейсмических колебаний породного массива в данном районе, остается относительно стабильным на протяжении нескольких последних лет.

Расчет устойчивости групп уступов. Учитывая, что в соответствии с результатами работы [5], восточный борт карьера ОАО «ЮГОК» характеризуется наличием крутопадающих, в сторону выработанного пространства под углом 70-75° слоев горных пород, целесообразно, в соответствии с методическими указаниями [2], использовать для определения его степени устойчи-

чивости расчетную схему X , приведенную в табл. 1 данных методических указаний.

При использовании данной расчетной схемы (см. рис. 1) учтено, что на границе со слабым контактом поверхность скольжения приобретает излом под углом θ , который определяется по формуле (9). В верхней части призмы сдвижения криволинейная поверхность сдвижения строится с учетом наличия природных или техногенных поверхностей ослабления, а в средней и нижней части поверхность сдвижения принимается близкой по форме к круглоцилиндрической

$$\theta = \frac{\pi}{4} - \frac{1}{2} \cdot (\varphi - \varphi^1) - \frac{1}{2} \cdot \arcsin\left(\frac{\sin \varphi^1}{\sin \varphi}\right), \quad (9)$$

где φ - угол внутреннего трения по коренной породе, рад.; φ^1 - угол внутреннего трения по трещинам, рад.

Таблица 1

Результаты расчета устойчивости групп уступов восточного борта карьера ОАО «ЮГОК» в районе строительства железнодорожной полутраншеи

Разрез	Линия скольжения	Высота откоса, м	Угол наклона, град.	КЗУ доли ед.	КЗУ с учетом сейсмички (1 вариант)	КЗУ с учетом сейсмички (2 вариант)
1-1	1 - борг	80	22	1,88	1,48	1,78
	2 - борг	50	26	1,92	1,54	1,84
	3 - уступ	20	70	2,53	1,97	2,32
2-2	1 - борг	90	27	1,62	1,34	1,48
	2 - уступ	28	62	2,49	1,92	2,34
3-3	1 - уступ	65	25	2,08	1,64	2,01
	2 - борг	50	35	1,92	1,52	1,82
4-4	1 - борг	65	48	1,33	1,18	1,31
	2 - борг	110	30	1,37	1,22	1,33
5-5	1 - борг	75	39	1,38	1,21	1,35
	2 - борг	110	26	1,53	1,36	1,44

Расчет коэффициента запаса устойчивости по отстроеной наиболее опасной поверхности скольжения, производился методом алгебраического суммирования сил. Точка преломления поверхности скольжения определена путем постепенного приближения с помощью пошаговых расчетов.

В основу расчета устойчивости групп уступов восточного борта карьера ОАО «ЮГОК» положено их проектное положение после окончания строительства спиралевидной железнодорожной полутраншеи глубокого ввода, а расположение вертикальных разрезов на проектном контуре, приведено на рис. 2.

Геомеханические схемы, использованные для расчета устойчивости этих уступов и групп уступов, приведены на рис. 3.



Рис. 2. Положение расчетных разрезов на плане восточного борта карьера ОАО «ЮГОК»



Рис. 3. Схемы к расчету устойчивости групп уступов по разрезу 2-2 (а) и разрезу 4-4 (б)

При учете сейсмического воздействия массовых взрывов на устойчивость групп уступов в районе строительства полутраншеи учитывалось то, что максимальная разрешенная масса ВВ на ступень замедления в этом случае не должна превышать 1075 кг. Это обосновано тем, что все массовые взрывы на карьере ОАО «ЮГОК» не могут создавать сейсмические волны в районе защищаемых объектов силой более 2 баллов по Международной сейсмической шкале МКС-64.

При этом в качестве нормативных параметров принято: для группы уступов нерабочего борта сложенного трещиноватыми породами со сроком службы более 5 лет, коэффициент запаса устойчивости должен быть не менее 1,3; для уступов нерабочего борта, сложенного трещиноватыми породами со сроком службы более 5 лет коэффициент запаса устойчивости должен быть не менее 2,0.

Результаты выполненных расчетов приведены (см. табл. 1).

Анализ полученных результатов. В результате выполненных расчетов установлено, что степень устойчивости уступов и групп уступов по профилю строящейся трассы полутраншеи, без учета сейсмического воздействия массовых взрывов, соответствует нормативным показателям (расчетное значение коэффициента запаса устойчивости 1,33-2,49).

Однако с учетом сейсмического воздействия массовых взрывов (см. табл. 1, вариант 1) степень устойчивости проектируемых горных выработок не будет соответствовать нормативным показателям (расчетное значение коэффициента запаса устойчивости изменяется в пределах 1,18-1,92).

В связи с этим было рекомендовано при проектировании массовых взрывов по трассе строящейся полутраншеи на предельном контуре применять рассредоточенные заряды с внутрискважинным замедлением, которые позволяют уменьшить массу ВВ приходящуюся на ступень замедления втрое, до величины 358 кг.

При этом взрывной блок обуривать станком Atlas Copco ROC L-8 (скважины диаметром 165 мм), а контурный ряд скважин, обуривать под углом 65-70° в сторону выработанного пространства.

С учетом этих рекомендаций, проведены расчеты степени устойчивости уступов и групп уступов по строящейся трассе полутраншеи, с учетом сейсмического воздействия массовых взрывов (см. табл. 1, вариант 2). Полученные результаты показали, что степень устойчивости данных горных выработок будет соответствовать нормативным показателям (расчетное значение коэффициента запаса устойчивости изменяется в пределах 1,31-2,34).

Выводы. Таким образом, предложенный метод расчета устойчивости открытых горных выработок, учитывающий сейсмическое воздействие на них массовых взрывов, позволил определить такие численные значения параметров БВР, использование которых при проектировании спиралевидной полутраншеи глубокого ввода в районе восточного борта карьера ОАО «ЮГОК», позволило обеспечить ее строительство в условиях ограниченной рабочей зоны и гарантировать длительную и безопасную эксплуатацию.

Список литературы

1. Фисенко Г.Л. Устойчивость бортов карьеров и отвалов. - М.: Недра, 1965.-375 с.
 2. Методичні вказівки з визначення оптимальних кутів нахилу бортів, укосів уступів і відвалів залізрудних та флюсових кар'єрів / Під ред. проф. А.Г. Шапаря // К., 2009. - 201 с.
 3. Норми технологічного проектування гірничодобувних підприємств із відкритим способом розробки родовищ корисних копалин. К., 2007.
 4. Nesmashnyi E.A. Calculating and rationalizing the relativity norms for determining the slopes of quarry flanks / Soviet mining journal, -1987, vol. 1, num. 3, Oksonian Press, India.
 5. Выбор параметров уступов и бортов карьера на предельном контуре и оценка его влияния на подземные воды / Отчет о НИР: Научн. рук. проф. Ю.М. Николашин // Новотек-2 / Харьков, 2008
 6. Введение в механику скальных пород // Под ред. Х. Бока. -М.: Мир, 1983. - 271 с.
 7. Несмашний Е.А., Федин К.А. Оценка сейсмической опасности массовых взрывов в районе восточного борта карьера ОАО «ЮГОК». Металлургическая и горнорудная промышленность. Днепропетровск, № 4, 2013. - С. 72-75
 8. Несмашний С.О., Федин К.А. Визначення сейсмобезпечних параметрів масових вибухів при будівництві траншеї глибокого вводу на кар'єрі «ПівдГЗК» / Вісник Криворізького національного університету. – Кривий Ріг: КНУ, 2013. - Вип. 35. - С. 14-19
 9. Сидоренко В.Д., Несмашний С.О., Здешиц В.М. Моніторинг сейсмічних коливань при масових підриваннях свердловинних зарядів в кар'єрі ПівдГЗК // Вісник КТУ. - Кривий Ріг, КТУ, Вип. 1, 2003, С. 7 – 9.
 10. Визначення параметрів бурових і вибухових робіт при виконанні будівництва траншеї //Звіт про НДР// наук. кер., проф. Несмашний С.О.// - Кривий Ріг, КТУ, -2009.
- Рукопись пступила в редакцію 06.01.14