УДК 624.131:622.271

А.Н.ШАБАРОВ, *д-р техн. наук, проректор, post@spmi.ru*
С.В.ЦИРЕЛЬ, *д-р техн. наук, tsirel58@mail.ru*
Б.Ю.ЗУЕВ, *канд. техн. наук., b.zuev2010@ya.ru*
А.А.ПАВЛОВИЧ, *аспирант, dandy332@mail.ru*
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург

A.N.SHABAROV, *Dr. in eng. sc., prorector, post@spmi.ru*
S.V.TSIREL, *Dr. in eng. sc., tsirel58@mail.ru*
B.Yu.ZUEV, *PhDr. techn.sci., b.zuev2010@ya.ru*
A.A.PAVLOVICH, *post-graduate student, dandy332@mail.ru*
National Mineral Resources University (University of Mines), Saint Petersburg

ПРОГНОЗ ВЕРОЯТНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ПРИБОРТОВОГО МАССИВА РАЗРЕЗА «ЧЕРНИГОВЕЦ» ПРИ СЕЙСМИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

Проведена оценка сейсмического воздействия землетрясений на устойчивость бортов разреза «Черниговец» в Кемеровской области с помощью псевдостатических расчетов и физического моделирования. Показано, что для оценки влияния сейсмических волн необходимо учитывать не только максимальные ускорения, но и длительность колебаний.

***Ключевые слова*:** борт карьера, сейсмические события, псевдостатический расчет, физическое моделирование.

ANTICIPATING OF PROBABLE STRAINS SLOPE OF COAL STRIP MINE «CHERNIGOVETS» AT SEISMICALLY IMPACT

Estimation of earthquakes seismic effect for slope stability of coal strip mine «Chernigovets» in Kemerovo region by means of pseudo-static analysis and physical modeling is conducted. Relevancy to take into account not only maximum accelerations but also continuance of oscillations is showed.

***Key words*:** slope stability, seismic events, pseudo-static analysis, physical modeling.

В последние десятилетия в регионах с развитой горно-добывающей промышленностью (Кузбасс, Кольский полуостров, Урал и т.д.) возрастает частота сейсмособытий. Рост сейсмической активности определяется не только тектоническими силами, но и влиянием горных работ [4, 6].

Наибольшее число месторождений, разрабатываемых открытым способом, находится в Кемеровской области [6]. Кемеровская область относится к регионам с умеренной сейсмической активностью: в северной части области средний период повторяемости сотрясений с интенсивностью сотрясений 7 баллов составляет 5000 лет, а в южной – 500-1000 лет [5]. Наиболее мощные землетрясения ($M \approx 6$) на территории Кузбасса (в районе Новокузнецка) произошли на рубеже XIX и XX вв., а в течение всего инструментального периода (с начала 60-х гг. XX в.) в Кемеровской области землетрясений с магнитудой более 4,5 не отмечалось. Тем не менее, происходящие в последние годы изменения сейсмической обстановки явно указывают на рост частоты сейсмических событий [1].

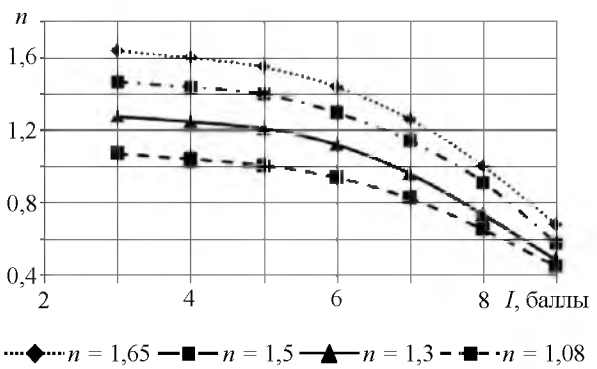
Угольные месторождения, разрабатываемые в Кемеровской области, имеют развитую дизъюнктивную и пликативную нарушенность, которая существенно влияет на устойчивость бортов разрезов. Наибольшее распространение на открытых горных работах, как в Кемеровской области, так и в других горно-добывающих регионах, имеют наклонно-залегающие ослабленные поверхности (потенциальные поверхности скольжения). При направлении падения слоев в сторону выемки пониженные прочностные характеристики контакта между слоями существенно снижают запас устойчивости. Весьма характерным является Кедрово-Крохалевское месторождение, разрабатываемое разрезом «Черниговец».

Сейсмическое воздействие на сооружения необходимо учитывать для зон с интенсивностью колебаний 7 баллов и выше [3]. Однако возросшая частота сейсмических событий в Кузбассе заставляет проводить анализ влияния сейсмических колебаний на устойчивость бортов разрезов и в 6-балльный зоне, в том числе для района расположения разреза «Черниговец».

В настоящее время в России для оценки сейсмического воздействия при расчетах устойчивости бортов карьеров принят псевдостатический подход, согласно которому, влияние сейсмических волн на устойчивость однозначно определяется интенсивностью колебаний при землетрясениях.

При проведении расчетов принята следующая схема прибортового массива. Дренированный плоский борт высотой 200 м с углом наклона 25°, в массиве залегает слабый контакт, совпадающий с плоскостью скольжения, под углами 5, 10, 15 и 20°. Расчеты проводились методом Спенсера. Начальные коэффициенты запаса устойчивости без учета сейсмичности и составили соответственно 1,65; 1,5; 1,3 и 1,08.

На рисунке отображены графики зависимости коэффициентов запаса устойчивости борта разреза от интенсивности сейсмических колебаний. Как видно, колебания с интенсивностью до 5 баллов заметного влияния на устойчивость борта не оказывают, 6-балльные колебания существенно уменьшают коэффициент запаса устойчиво-



Изменение коэффициента запаса устойчивости в зависимости от интенсивности землетрясения для откосов с n, равным 1,65; 1,5; 1,3 и 1,08

сти бортов разреза, что согласно [2] приводит к появлению необратимых, но затухающих во времени деформаций прибортового массива. Семибалльное сотрясение вызывает разрушение откоса с начальным коэффициентом запаса $n = 1{,}3$, а восьмибалльное сотрясение приведет в предельное состояние даже откос с начальным коэффициентом запаса устойчивости $n = 1{,}65$.

Однако наблюдения показывают, что результаты расчетов псевдостатическим методом во многих случаях существенно расходятся с натурными данными. Зафиксировано достаточно много случаев, когда при сильных колебаниях, вызванных близким землетрясением, не образовывалось видимых разрушений, и, наоборот, при достаточно слабом, но более длительном воздействии далеких землетрясений происходили необратимые деформации бортов карьеров.

В связи с этим было проведено физическое моделирование сейсмического воздействия на прибортовой массив. Опыты проводились для моделей с разными коэффициентами запаса устойчивости борта карьера; моделирование сейсмического воздействия представляло собой воспроизведение в модели ускорения, соответствующее интенсивности колебаний в 6 баллов. Продолжительность землетрясения для заданной магнитуды M моделируемого землетрясения $t = 10^{0{,}31M - 0{,}774}$, с

В табл.1 приведены полученные в опытах значения смещений формирующейся призмы обрушения вдоль плоскости скольжения при различной магнитуде землетря-

сений (в пересчете на натурные условия). Для оценки последствий сдвижений формирующейся призмы обрушения, вызванных сейсмическими колебаниями, на основании натурных данных деформирования прибортового массива [2] для бортов глубиной до 200 м была составлена типизация необратимых деформаций борта (табл.2).

Таблица 1

Смещения призмы обрушения вдоль поверхности скольжения при интенсивности колебаний 6 баллов и различной магнитуде землетрясения, м

Начальный коэффициент запаса устойчивости n	Магнитуда			
	8	7	6	5
1,26	13,6	5,8	1,9	0,03
1,39	0,08	0,03	0,01	0

Таблица 2

Типизация вероятных последствий сдвижения формирующейся призмы обрушения

Величина сдвижения, м	Вероятные последствия
>3	Возможность образования оползня
0,5-3	Необратимые деформации
<0,5	Малые необратимые деформации
–	Упругие деформации

Из анализа табл.1 и 2 видно, что при нормативном коэффициенте запаса 1,3 при интенсивности колебаний $I = 6$ и магнитуде не выше 7 в прибортовом массиве будут наблюдаться лишь незначительные деформации. Однако при продолжительности землетрясения от 50 с и более (магнитуда 7,5-8 и более) возникнут необратимые деформации. Таким образом, не только интенсивность колебаний, но и магнитуда землетрясения оказывают существенное влияние на сейсмоустойчивость бортов карьеров.

Оценим влияние наиболее сильных землетрясений в Кузбассе на устойчивость бортов разреза «Черниговец». Для проведения расчетов воспользуемся общим уравнением макросейсмического поля (уравнение Н.В.Шебалина), связывающим балльность колебаний I_i в заданной точке с магнитудой M, эпицентральным расстоянием Δ и глубиной очага h землетрясения [7]:

$$I_i = bM - v\log\sqrt{\Delta^2 + h^2} + c,$$

где b, v, c – коэффициенты, зависящие от сейсмических условий. Для Алтае-Саянской сейсмоактивной области эти коэффициенты соответственно равны 1,5, 4,0 и 4,0.

Одно из самых сильных землетрясений в Кемеровской области произошло в 1903 году, магнитуда землетрясения составила 6,1-6,2 при глубине очага 30 км, интенсивность колебаний в эпицентре достигала 7 баллов. Расстояние от эпицентра этого землетрясения до разреза приблизительно 200 км, соответственно в районе разреза «Черниговец» интенсивность колебаний составляла примерно 3,9-4,0 балла. Из мощных далеких землетрясений необходимо отметить более близкое к нам по времени Горно-Алтайское (Чуйское) землетрясение, произошедшее 27 сентября 2003 г. Интенсивность землетрясения в эпицентре достигала 9 баллов, а магнитуда составляла 7,3-7,5 при глубине очага 18-20 км. Расстояние от эпицентра до разреза приблизительно 620 км, соответственно в районе разреза «Черниговец» интенсивность колебаний составляла 3,8-4,2 балла.

Таким образом, произошедшие самые мощные землетрясения действительно не должны были оказывать заметного влияния на устойчивость бортов разреза «Черниговец». Однако, если бы землетрясение, подобное Чуйскому, произошло в Кемеровской области, то сейсмические колебания 6-балльной интенсивности могли бы вызвать существенные деформации бортов разреза или даже оползень, в отличие от колебаний такой же интенсивности от близких, но более слабых землетрясений. В условиях возросшей природной и техногенной сейсмической активности необходимо учитывать возможность таких явлений. При этом для правильной оценки влияния сейсмических волн на устойчивость бортов разрезов, для колебаний с интенсивностью 5-6 баллов и выше, следует отказаться от упрощенного псевдостатического подхода и учитывать влияние продолжительности и преобладающего периода колебаний.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Лазаревич Т.И.* Горный мониторинг сейсмической и геодинамической безопасности Кузбасса / Т.И.Лазаревич, А.Н.Поляков // Горная геомеханика и маркшейдерское дело. СПб, 2009.

2. Правила обеспечения устойчивости откосов на угольных разрезах. СПб, 1998. 208 с.

3. СНиП II-7-81* Строительство в сейсмических районах. М., 2000.

4. *Уломов В.И.* Комплект карт Общего сейсмического районирования территории Российской Федерации – ОСР-97. Масштаб 1:8 000 000. Объяснительная записка и список городов и населенных пунктов, расположенных в сейсмоопасных районах / В.И.Уломов, Л.С.Шумилина. М., 1999.

5. *Цирель С.В.* Влияние сейсмических процессов на ведение открытых горных работ / С.В.Цирель, А.А.Павлович // Известия вузов. Горный журнал. 2011. № 7.

6. *Шебалин Н.В.* Методы использования инженерно-сейсмологических данных в сейсмическом районировании // Сейсмическое районирование СССР. М., 1968. Ч.1.

7. *Тряпицын В.М.* Современная тектоника / В.М.Тряпицын, А.Н.Шабаров // Современная тектоника и геодинамика Хибин. Кострома, 2007.

REFERENCES

1. *Lazarevich T.I.* Mining monitoring of seismical and geodynamical safety of Kuzbass region / T.I.Lazarevich, A.V.Polyakov // Mining geomechanics and mining surveying. Saint Petersburg, 2009.

2. Rules of the stability of slopes for coal strip mines. Saint Petersburg, 1998.

3. Construction norms & regulations II-7-81. Construction in seismic regions. Moscow, 2000.

4. *Ulomov V.I.* Package of maps of common seismic zoning of Russian Federation territory OSR-97. Scale 1:8000000. Explanatory note and list of cities and towns located in earthquake-prome regions / V.I.Ulomov, L.S.Shumilina. Moscow, 1999.

5. *Tsirel S.V.* Seismic process influence for open cast mining / S.V. Tsirel, A.A. Pavlovich // Bulletin of higher vocational establishments. Mining journal. 2011. N 27.

6. *Shebalin N.V.* Methods of engineering – seismical data usage at seismical zoning // Seismical zoning of USSR. Moscow, 1968. Part 1.

7. *Tryapitsin V.M.* Modern tectonics / V.M.Tryapitsin, A.N.Shabarov // Modern tectonics and geodynamics of Khibin region. Kostroma, 2007.