Внешние силы и моменты, действующие на любое тело, находящееся на взволнованной поверхности жидкости, имеют гидродинамическую природу, поскольку являются результатом взаимодействия этого тела с волнами малой амплитуды. Поэтому более удобно определять силы и моменты в системе координат *Oxyz*, связанной с телом и движущейся вместе с ним. В системе (13) моменты, действующие на понтон, уже представлены в подвижной системе координат, а силу R_z выразим через R_ζ с помощью формулы (2)

$$R_z = R_\xi \cdot \psi - R_\eta \cdot \theta + R_\zeta$$

и учитывая (15), получаем

$$R_z = R_\zeta . \qquad (16)$$

Таким образом, в силу формул (14-16), системы (12) и (13) можно объединить и представить одной системой

$$\begin{cases} m\ddot{\zeta} = R_z , \\ J_x\ddot{\theta} = m_x , \\ J_y\ddot{\psi} = m_y , \end{cases} \qquad (17)$$

искомыми функциями в которой являются вертикальное перемещение ζ и углы поворота θ, ψ.

В заключение отметим, что неизвестными в системе (17) являются также сила R_z и моменты m_x, m_y, для определения которых в работе [5] сформулирована краевая задача о гравитационных волнах жидкости в зумпфах угольных разрезов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кучер, Н. А.* Условия безопасного применения плавучих водоотливных установок / С. В. Черданцев, С. И. Протасов, С. Н. Подображин, В. В. Билибин // Безопасность труда в промышленности. – 2003, – № 1. – С. 12 – 14.

2. *Жуковский, Н. Е.* Теоретическая механика. – М.: Гостехиздат, 1952. – 811 с.

3. *Ремез, Ю. В.* Качка корабля. – Л. : Судостроение, 1983. – 328 с.

4. *Лурье, А. И.* Аналитическая механика. – М. : Физматгиз, 1961. – 824 с.

5. *Черданцев, С. В.* Постановка задачи о гравитационных волнах жидкости в зумпфах угольных разрезов // Вестник КузГТУ, 2012, № 6. – С. 10-12.

□ Автор статьи

Черданцев
Сергей Васильевич,
докт. техн. наук, проф. каф.
математики КузГТУ .
E–mail: svch01@yandex.ru

УДК 622.831.32

К. Л. Дудко, А.И. Шиканов

ОЦЕНКА УДАРООПАСНОСТИ МАССИВА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ПОДЗЕМНОГО ЭЛЕКТРОПРОФИЛИРОВАНИЯ НА ТАШТАГОЛЬСКОМ РУДНИКЕ

Железорудные месторождения Горной Шории и Хакасии разрабатываются на больших глубинах в условиях действия высоких тектонических напряжений и нарушенности массива горных пород. Руды и породы прочные, хрупко разрушаются под нагрузкой, способны накапливать значительную упругую энергию деформаций; около 90 % пород удароопасны. Развитие горных работ связано с ростом объемов проведения капитальных, подготовительных и очистных выработок, которые расположены как в шахтном поле, так и в лежачем боку месторождения, их длина на руднике изменяется от сотен до тысяч метров [1].

Динамические проявления горного давления в форме стреляний горных пород на Таштагольском месторождении отмечены с глубины 300 м, а на глубине 600 м и более имеют место проявления горных и горно–тектонических ударов большой разрушительной силы. С 1959 года по 2011 год на месторождении зарегистрировано 18 тыс. динамических явлений, в том числе 20 горных ударов, из которых 7 - горно-тектонического типа.

Контроль степени удароопасности в выработках, пройденных вне зоны влияния очистных работ (руддворы, квершлаги, полевые штреки), проводится путем электропрофилирования согласно методике [2] не реже 1 раза в полугодие.

Для проведения электропрофилирования используется симметричная 4-х электродная установка AMNB, которая перемещается вдоль профиля с шагом 20-25 м. Расстояние между приемными электродами *MN* составляет 1 м. Результаты измерений передаются в службу прогнозирования горных ударов для дальнейшей обработки, внесе-

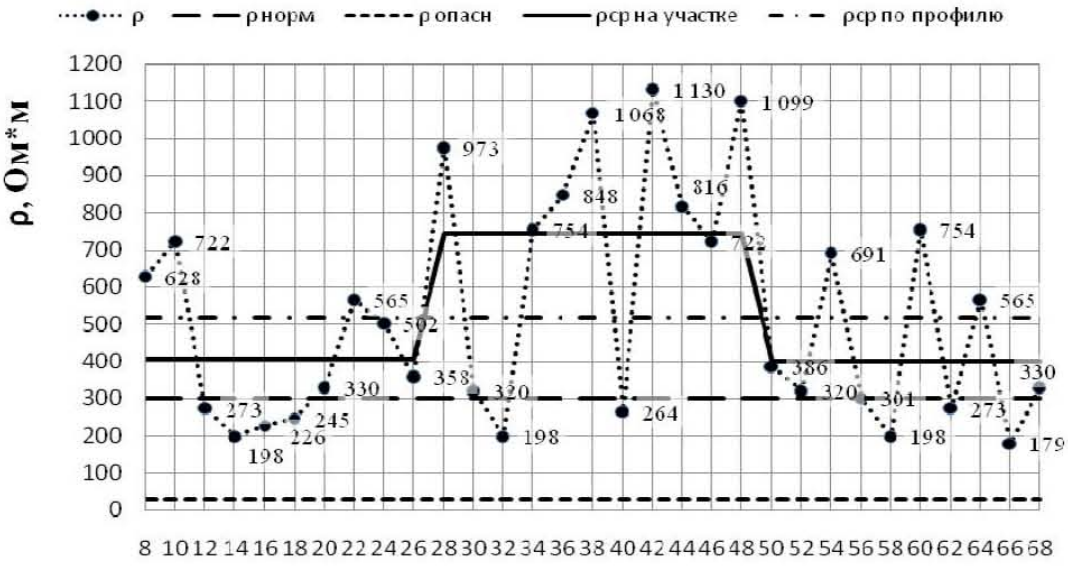

Рис. 1. График электросопротивлений по профилю порожнякового квершлага

ния их в базу данных и определения степени удароопасности массива. Расчет удельного электросопротивления производится по формуле

$$\rho = \frac{K \cdot C \cdot \Delta U}{I} \qquad (1)$$

где ΔU - измеренная разность потенциалов, мВ; I — измеренная величина тока, мА; $K = \frac{\pi \cdot AM \cdot AN}{MN}$ – коэффициент установки; C - поправочный коэффициент, учитывающий геометрические размеры выработки; AM, AN, MN - расстояние между соответствующими электродами, м.

Критерий удароопасности

$$K_p = \rho_{ср} / \rho_н \qquad (2)$$

где $\rho_{ср}$ – среднее по профилю электросопротивление, $\rho_н$ – нормальное значение электросопротивления (на руднике принято равным 300 Ом·м).

Удароопасному состоянию массива соответствует значение, меньше 30 Ом·м. Значения УЭС свыше 1500 и менее 6 Ом·м считаются аномальными и в расчет не принимаются.

Как следует из информации, полученной от службы прогноза рудника, точность прогноза горных ударов электрометрическим методом во многих случаях, в особенности после перехода на новый горизонт, значительно снизилась. Одну из причин этого можно указать то, что сама методика прогноза составлялась в конце 80-х годов и не могла учесть многих обстоятельств, связанных с изменением горно-геологической и горнотехнической обстановки будущих горных работ.

В связи с этим был проведен анализ данных по измеренным электросопротивлениям за период с 2004-2009 г.г, представленные службой прогноза рудника. Измерения производились на горизонте (-350м) вдоль профилей, проложенных в грузовом и порожняковом квершлагах. Длина измерительного профиля для каждой выработки составляет около 600 метров. Для примера на рис.1 приведен характерный график электросопротивления по измерительным центрам профиля порожнякового квершлага. Из графика видно, что интервал колебания данных находится в пределах от 178 до 1130 Ом*м и визуально выделяются три зоны с различными уровнями электросопротивлений. Так, для западной части выработки среднее электросопротивление составляет 400 Ом*м, а для центральной и восточной – соответственно 750 и 400 Ом*м. Аналогичная тенденция сохраняется и на других графиках. Среднее значение электросопротивления по всему профилю выработки оказывается равным 520 Ом*м, то есть отклонение средних значений электросопротивления на отдельных участках профиля составляет от 20 до 60%. Таким образом, значения электросопротив-

Наблюдаемые диапазоны УЭС при разных условиях проведения замеров

Условия проведения измерений	Наблюдаемые диапазоны УЭС, Ом×м		
	Порожняковый квершлаг		
	Запад. часть	Центр. часть	Вост. часть
Сейсмические события 2-го и выше классов	239-942	209-968	208-1177
Повышенные водопритоки	290-825	230-931	342-857
Проявления горного давления	155-812	208-916	226-1010
Массовые взрывы и проявления горного давления	305-825	370-679	305-943
Повышенный водоприток и проявления горного давления	283-676	308-685	226-885

ления на участках выработки значительно отличаются как друг от друга, так и от среднего электросопротивления по профилю, которое сейчас и используется для прогнозирования горных ударов. Такой разброс средних электросопротивлений может быть обусловлен различными причинами, в том числе и наличием на профиле трех блоков с различным геологическим строением.

Помимо электрометрических данных за тот же период проведен анализ сейсмических данных. На руднике имеется собственная сейсмостанция. Она обеспечивает наблюдение за всем шахтным полем посредством 16 сейсмоприемников, установленных в разных частях и на разных горизонтах рудника. На рассматриваемом горизонте находится один сейсмоприемник, расположенный в центре шахтного поля и отстоящий от рассматриваемых горных выработок на расстоянии 200-800 м. При оценке удароопасности на горизонте (-350 м) службой прогноза используются данные по энергии сейсмических событий, полученные с данного сейсмоприемника. Поэтому нами проведен перерасчет сейсмической энергии, реально доходящей до разных частей горных выработок. В восточную часть порожнякового квершлага приходит в основном наибольшее количество сейсмической энергии, это является следствием наиболее близкого расположения к взрывным работам, производимым на восточном и юго-восточном участках. В центральную и западную часть выработки приходит уже более слабая волна, что обусловлено её затуханием, отражением и преломлением.

Столь же существенно на изменение электросопротивления влияют сезонные водопритоки. Анализ показал, что электросопротивление в период повышенных водопритоков при исключении других факторов может изменяться в 3-4 раза. Диапазоны изменения электросопротивления с учетом класса сейсмических событий и водопритоков приведены в таблице.

Из результатов проведенного анализа видно, что причиной неудовлетворительных результатов проводимого в последние годы на руднике прогноза удароопасности по электропрофилированию выработок является несовершенство методики измерений, связанной, например, с необоснованным выбором разноса измерительных электродов, неучетом изменчивости горно-геологических условий по профилю измерений при расчете средних электросопротивлений и влияние водопритоков на результаты замеров, использование критериев удароопасности по электросопротивлению, установленных для ранее отработанного горизонта. Совершенствование методики измерений и обработки их результатов, а также установление новых критериев удароопасности по электросопротивлению позволит повысить до достаточного надежность прогноза удароопасности по электросопротивлению.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Еременко, А. А.* Проведение и крепление горных выработок в удароопасных зонах железорудных месторождений./ А. А. Еременко, А. И. Федоренко, А. И. Копытов. – Новосибирск: Наука, 2008. – 236 с.

2. Указания по безопасному ведению горных работ на месторождениях Горной Шории, склонных и опасных по горным ударам // Изд - во ВостНИГРИ. – Новокузнецк: 2001. – 55 с.

Авторы статьи:

Дудко
Константин Львович,
ассистент каф. теоретической и геотехнической механики КузГТУ..
E-mail: constantin.dudko@yandex.ru

Шиканов
Алексей Иванович,
канд.техн.наук, доцент каф. теоретической и геотехнической механики.
КузГТУ. E-mail: shai.tgm@mail.ru

УДК 622.235(088.8): 519.21

Д. Ю. Сирота, В.В. Иванов

ВОЗМУЩЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ПОДГОТОВКЕ ГОРНО-ТЕКТОНИЧЕСКИХ УДАРОВ В УГОЛЬНОМ МАССИВЕ

При подготовке горно-тектонических ударов и техногенных землетрясений, очаг которых расположен на сравнительно небольшой глубине, как на земной поверхности, так и в атмосфере возникают заметные аномалии естественного электрического поля, обусловленные зарядовым состоянием трещин при их накоплении в зоне очага [1].

В работах [1, 2] были произведены расчёты потенциала электрического поля от крупных естественных источников тока, с учётом влияния увлажнённого приповерхностного слоя пород наносного типа, а также одного горизонтального угольного пласта.

В данной заметке будет произведён расчёт напряжённости поля при тех же, что и в [2], условиях.