

П.Ю. Шелехов, О.А. Гаврина, М.С. Баликоева,
Э.А. Ачеева

ОЦЕНКА ОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРИЗАЦИИ ДЕТОНАТОРА ПРИ ПНЕВМОЗАРЯЖАНИИ ВЗРЫВНЫХ ПОЛОСТЕЙ В УСЛОВИЯХ РАЗЛИЧНОЙ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД

Пневматический способ транспортирования гранулированных ВВ (взрывчатых веществ) и пневматическое заряжание взрывных полостей (шпуров и скважин) широко применяется на предприятиях горнодобывающей промышленности. Однако, у этого способа имеется ряд недостатков: электризация транспортирующих систем, а также возникновения электрического заряда в потоке аэровзвеси. В результате, в зарядном шланге, в процессе заряжания, накапливается электрический потенциал величиной, достаточной для инициирования незапланированного взрыва. Поэтому развитие и разработка теоретических и экспериментальных основ электризации при пневмозаряжании взрывных полостей является актуальной проблемой. Для получения объективной характеристики электризации транспортирующих систем необходимо изучить и исследовать закономерности этого процесса в зависимости от электропроводности горных пород. Приведены результаты экспериментальных и теоретических исследований, в основе которых лежит связь параметров электростатического поля, таких как потенциал, электроемкость и электрический заряд с характеристиками электропроводности горных пород.

Ключевые слова: электропроводность, плотность тока, пневмозаряжание, электроемкость, взрывчатые вещества, электрод, детонатор.

В процессе пневмотранспортирования рассыпных ВВ по шлангам заряды статического электричества, будут переходить на поверхность выработки главным образом, в месте соприкосновения потока с поверхностью скважины (поверхностью заряжаемой полости). При этом гильза капсуля и скрученные концы проводов электродетонатора и детонирующий шнур

могут оказаться под напряжением. Для выяснения опасности срабатывания детонатора необходимо знать электропроводность горных масс, оказывающих непосредственное влияние на рассеивание электрических зарядов.

При определении удельного сопротивления горных пород с последующим подсчетом их удельной проводимости можно использовать различные методы, нашедшие широкое применение в практике для измерения сопротивления заземляющих устройств, а также методы, применяемые для вертикального электрического зондирования в электроразведке [1].

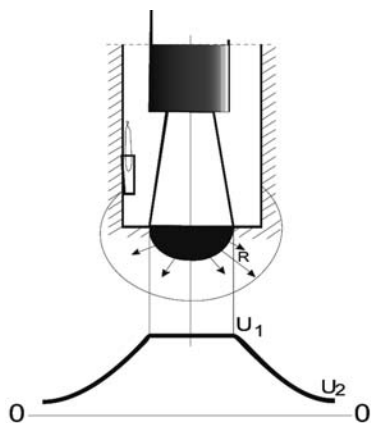
Для определения электропроводности горных пород в шахтных условиях наиболее приемлем метод контрольного электрода, заключающийся в том, что измеряется сопротивление растеканию опытного заземлителя (контрольного электрода) с последующим расчетом его удельной проводимости [2].

Но метод контрольного электрода позволяет определить электропроводность горной породы только в определенной точке, где производится замер. Этот метод не позволяет судить об электропроводности определенного объема горного массива, что необходимо знать при исследовании скорости рассеивания электрических зарядов. Поэтому метод контрольного электрода целесообразно применять совместно с методом четырех электродов, позволяющем получить характеристику электропроводности горных пород на любой глубине.

Сущность метода четырех электродов в том, что сопротивление растеканию тока между крайними электродами установки определяется сопротивлением объема породы, заключенной в полусферу с диаметром, равным расстоянию между крайними электродами l . Сопротивление указанного объема породы измеряется как отношение разности потенциалов ΔU на участке между внутренними потенциальными электродами, к току I между крайними токовыми электродами: $R = \Delta U/I$, Ом.

Особенностью применения метода четырех электродов в подземных условиях является небольшой разнос токовых электродов, что дало возможность использовать этот метод там, где ограниченные размеры выработок не позволяли применить метод контрольного электрода. Кроме того, совместное применение обеих методов в одних и тех же условиях позволило сопоставить результаты измерений и получить объективную характеристику удельного сопротивления исследуемых пород.

Анализ данных интерпретации экспериментальных кривых показывает, что с глубиной удельное сопротивление некоторых



пород претерпевает большое изменение. Это, вероятно, вызвано сильными окислительными процессами, присущими поверхностному слою пород, что ведет к резкому снижению их удельного сопротивления.

При пневматическом зарядании скважин россыпными взрывчатыми веществами статическое электричество создает разность потенциалов между проводами электродетонатора и корпусом. При определенных условиях это

напряжение может вызвать разрядную искру и воспламенить головку электродетонатора.

Рассматривая процесс пневмозарядания (рисунок) с приближением к наиболее тяжелому случаю, представим струю ВВ, которая движется аксиально со стенками скважины на расстоянии 1 м. При этом детонатор расположен по схеме, применяемой при обратном способе инициирования, т.е. находится внутри взрывной полости. При непосредственном обдуве электродетонатора смесью ВВ — воздух в условиях идеально диэлектрических пород корпус детонатора будет находиться под потенциалом равным потенциалу струи.

С увеличением электропроводности горных пород потенциал на корпусе детонатора будет отличаться от потенциала в условиях диэлектрических пород, за счет рассеивания электрических зарядов в проводящей среде. С другой стороны, увеличение расстояния между местом контакта струи с породой, обладающей определенной проводимостью и гильзой детонатора тоже приведет к снижению потенциала на гильзе [5].

Для определения характера изменения электростатического потенциала на корпусе электродетонатора в зависимости от удельной проводимости пород и расстояния между корпусом детонатора и плоскостью контактирования струи ВВ с породой, проведем следующие расчеты. В качестве исходных данных примем: а) удельную проводимость пород, равную 10^{-6} См/м, что соответствует наименьшей проводимости, полученной в производственных условиях; б) наибольший потенциал струи ВВ равный 10^4 В, что значительно превышает потенциал, измеренный в производственных условиях.

Значения электроемкостей пневмотранспортирующих магистралей

<i>l</i> – длина магистрали, м	$\varphi_{нар.} = 36$ мм $\varphi_{вн.} = 32$ мм	$\varphi_{нар.} = 40$ мм $\varphi_{вн.} = 36$ мм	$\varphi_{нар.} = 56$ мм $\varphi_{вн.} = 50$ мм
	<i>C</i> – электрическая емкость пневмомагистрали, Ф		
50	$0,54 \cdot 10^{-7}$	$0,605 \cdot 10^{-7}$	$0,560 \cdot 10^{-7}$
100	$0,108 \cdot 10^{-6}$	$0,121 \cdot 10^{-6}$	$0,113 \cdot 10^{-6}$
150	$0,162 \cdot 10^{-6}$	$0,185 \cdot 10^{-6}$	$0,169 \cdot 10^{-6}$
200	$0,216 \cdot 10^{-6}$	$0,242 \cdot 10^{-6}$	$0,226 \cdot 10^{-6}$
250	$0,270 \cdot 10^{-6}$	$0,302 \cdot 10^{-6}$	$0,283 \cdot 10^{-6}$
300	$0,324 \cdot 10^{-6}$	$0,363 \cdot 10^{-6}$	$0,339 \cdot 10^{-6}$
400	$0,432 \cdot 10^{-6}$	$0,484 \cdot 10^{-6}$	$0,452 \cdot 10^{-6}$
500	$0,540 \cdot 10^{-6}$	$0,605 \cdot 10^{-6}$	$0,565 \cdot 10^{-6}$
750	$0,810 \cdot 10^{-6}$	$0,907 \cdot 10^{-6}$	$0,847 \cdot 10^{-6}$
1000	$0,108 \cdot 10^{-5}$	$0,121 \cdot 10^{-5}$	$0,113 \cdot 10^{-5}$

Электроемкость пневмосистемы C_n , определенная как емкость, приходящаяся на единицу длины бесконечного цилиндрического конденсатора для шланга с наружным диаметром 56 мм и внутренним 50 мм составляет $0,113 \cdot 10^{-8}$ Ф/м (таблица).

По емкости системы C_n и принятому значению потенциала струи $U_c = 10^4$ В линейная плотность электрического заряда (плотность заряда, приходящаяся на 1 м пневмосистемы) определяется из выражения

$$\tau = C_n \cdot U_c, \text{ Кл/м.} \quad (1)$$

Подставляя в вышеприведенную формулу принятые ранее значения получаем $\tau = 0,118 \cdot 10^{-4}$ Кл/м. Тогда объемная плотность заряда при поперечном сечении ВВ радиусом 0,025 м составит

$$q = \frac{\tau}{S_c} = 0,565 \cdot 10^{-2} \text{ Кл/м}^3. \quad (2)$$

Если принять, что разряд потока ВВ будет передаваться не через площадь контакта струи с породой, а через полусферу радиус которой равен радиусу струи то получим

$$q = \frac{\tau}{2\pi R_c^2} = 0,003 \text{ Кл/м}^3. \quad (3)$$

Плотность тока переноса δ составит $\delta = q \cdot V_{\max} = 0,09 \text{ А/м}^2$; где V_{\max} – максимальная скорость движения взрывов ВВ по шлангу принятая из условий практики, м/с.

Ток переноса I за одну секунду определится

$$I = \delta \cdot 2\pi R_c^2 = 36 \cdot 10^{-5}, \text{ А}$$

Напряженность поля E полусферы радиуса R в породах с проводимостью γ определится как отношение

$$E = \frac{\delta}{\gamma} = \frac{I}{2\pi R^2 \gamma}, \text{ В/м}. \quad (4)$$

При принятом значении плотности тока переноса $\gamma = 10^{-6} \text{ сим/м}$ и радиусе полусферы $R = 1 \text{ м}$, напряженность поля составит $E = 57,5 \text{ В/м}$.

Напряжение между двумя точками на поверхности взрывной полости U_{1-2} определится из выражения

$$U_{1-2} = \int_{R_1}^{R_2} E dR = \frac{I}{2\pi \gamma} \int_{R_1}^{R_2} \frac{dR}{R^2} = \frac{I}{2\pi \gamma} \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right), \text{ В}. \quad (5)$$

Если принять потенциал $U = 0$ при $R = \infty$, то потенциал произвольной точки, находящейся от площади контакта струи ВВ с породой определится как

$$U = \int_R^{\infty} E dR = \frac{I}{2\pi \gamma R} \quad (6)$$

Так, при расстоянии электродетонатора от места контакта, равном 2 м ($R_\partial = 2 \text{ м}$), потенциал на корпусе электродетонатора при $\gamma = 1 \cdot 10^{-6} \text{ См/м}$ и $U_c = 10 \text{ киловольт}$ составит

$$\varphi_\partial = \frac{I}{2\pi \gamma R_\partial}, \text{ В или } \varphi_\partial = 28,7 \text{ В}.$$

Разумеется формулы, приведенные выше имеют смысл, если $R_\partial \gg R_c$. напряжение, под которым может оказаться гильза детонатора, находящегося на значительном расстоянии от контактирующей поверхности $R_\partial \gg R_c$, можно определить че-

рез относительные величины U_0 и R_0 , т. е. $U_o = U / U_c = 1 / R_0$; где U_0 – относительное напряжение, представляющее отношение напряжения U в данной точке к напряжению U_c струи ВВ; R_0 – относительное расстояние данной точки (гильзы детонатора), равное отношению ее расстояния R_d от поверхности контакта к радиусу струи R_c , т.е. $R_0 = R_d / R_c$.

При принятой наименьшей проводимости, равной 10^{-5} См/м и потенциале струи $U = 10$ кВ потенциал на корпусе детонатора, находящегося в зоне контакта струи с породой составляет $\varphi_d = 10$ кВ, то при $\gamma = 0,2 \cdot 10^{-5}$ См/м $\varphi_d = 5$ кВ.

В породах же с проводимостью $0,5 \cdot 10^{-5}$ См/м потенциал на гильзе составит всего $\varphi_d = 2$ кВ. С увеличением расстояния от центра контактирующей поверхности R_d до 5 см потенциал на корпусе детонатора при $\gamma = 0,5 \cdot 10^{-5}$ См/м снизится до 1 кВ.

Расстояние между мостиком электродетонатора и гильзой не может быть менее 2 мм. Электрическая прочность воздуха составляет 2–3 кВ/мм, а окружающего первичного инициатора больше чем воздуха. Примем худший вариант, когда потенциал мостика φ_m будет равен потенциалу земли. В этом случае для проскакивания искры между гильзой и мостиком корпус детонатора должен находиться под напряжением 4–6 кВ, т.е. должно соблюдаться условие

$$\varphi_d - \varphi_m = 4-6 \text{ кВ или при } \varphi_m = 0; \varphi_d = 4-6 \text{ кВ.}$$

При $U_c = 10$ кВ и при $\gamma = 0,71 \cdot 10^{-4}$ См/м (рудный скарн), что соответствует наименьшей проводимости пород, где велась работы по пневмозаряжению взрывных полостей, напряжение на корпусе детонатора $\varphi_d = 140$ вольт. Эта величина приблизительно в 15 раз меньше напряжения, необходимого для срабатывания электродетонатора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шелехов П. Ю., Белин В. А., Ачеева Э. А., Гаврина О. А. Зависимость величины электрического заряда от скорости и плотности транспортирования гранулированных взрывчатых веществ при пневмозаряжении взрывных полостей при ведении горных работ // Устойчивое развитие горных территорий. – 2014. – № 1(9). – С. 91–94.

2. Троценко О. А. Повышение эффективности и безопасности пневматического заряжения скважин россыпными взрывчатыми веществами при подземной добыче руд. Автореферат дисс. канд. техн. наук. – Владикавказ: СКГМИ(ГТУ), 2010. – С. 24.

3. Сибикин Ю. Д. Электроснабжение промышленных предприятий и гражданских зданий. – М.: Академия, 2006. – С. 368.

4. Шелехов П. Ю., Ачеева Э. А. Механизированное зарядание взрывных полостей гранулированными взрывчатыми веществами в горных условиях Северного Кавказа // Устойчивое развитие горных территорий. – 2011. – № 3(9). – С. 91–94.

5. Троценко О. А. Оптимизация технологии зарядания скважин гранулированными взрывчатыми веществами при добыче руд // Уголь. – 2009. – № 10. – С. 16–17. **ГИАС**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

*Шелехов Павел Юрьевич*¹ – доктор технических наук, профессор, e-mail: shlp40@yandex.ru,

*Гаврина Оксана Александровна*¹ – кандидат технических наук, доцент, e-mail: Gavrina-Oksana@yandex.ru,

*Ачеева Элина Асламбековна*¹ – кандидат технических наук, доцент, e-mail: elina.acheeva@mail.ru,

*Баликоева Маргарита Сергеевна*¹ – кандидат экономических наук, доцент, e-mail: toto484@mail.ru,

¹ Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет).

Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2016. No. 4, pp. 102–109.

UDC
622.235.32:
658.011.54

P.Yu. Shelekhov, O.A. Gavrina, M.S. Balikoeva, E.A. Acheeva
RISK ASSESSMENT OF THE ELECTRIFICATION
OF THE DETONATOR WITH THE EXPLOSIVE
PNEVMOTEHNIKA CAVITIES UNDER CONDITIONS
OF VARYING ELECTRICAL CONDUCTIVITY
OF ROCKS

Way pneumatic transportation of granular EXPLOSIVES (explosives) and pneumatic loading of explosive cavities (boreholes and wells) is widely used in the mining industry. However, this method has several disadvantages: the electrification of transport systems, as well as the emergence of electric charge in the flow of aerospace. As a result, the charging hose, in the process of loading, accumulates the electric potential of a magnitude sufficient to initiate an unplanned explosion. Therefore, the development and development of the theoretical and experimental foundations for electrification during pnevmotehnika explosive cavities is an important issue. To obtain objective characteristics of the electrification of transport systems it is necessary to study and explore the patterns of that process, depending on the electrical conductivity of rocks. In the article the results of experimental and theoretical studies, which are based on the relationship between the parameters of the electrostatic field, such as the potential electricity intensity and electric charge characteristics of electric conductivity of rocks.

Key words: conductivity, current density, pneumothoraces, production, explosives, the electrode of the detonator.

AUTHORS

*Shelekhov P. Yu.*¹, Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: shlp40@yandex.ru,

*Gavrina O.A.*¹, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, e-mail: Gavrina-Oksana@yandex.ru,

Acheeva E.A.¹, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor,
e-mail: elina.acheeva@mail.ru,

Balikoeva M.S.¹, Candidate of Economical Sciences, Assistant Professor,
e-mail: toto484@mail.ru,

¹ North Caucasus Mining-and-Metallurgy Institute (State Technological University),
362021, Vladikavkaz, Republic of North Ossetia-Alania, Russia.

REFERENCES

1. Shelekhov P.Yu., Belin V.A., Acheeva E.A., Gavrina O.A. *Ustoychivoe razvitiye gornyykh territoriy*. 2014, no 1(9), pp. 91–94.

2. Trotsenko O.A. *Povysheniye effektivnosti i bezopasnosti pnevmaticheskogo zaryazhaniya skvazhin rossyynymi vzryvchatymi veshchestvami pri podzemnoy dobyche rud* (Improving the efficiency and safety of pneumatic loading wells alluvial explosives for underground mining), Candidate's thesis, Vladikavkaz, SKGMI(GTU), 2010, pp. 24.

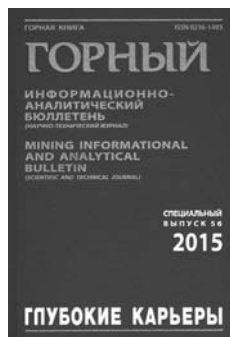
3. Sibikin Yu. D. *Elektrosnabzheniye promyshlennykh predpriyatiy i grazhdanskikh zdaniy* (Power supply of industrial enterprises and civil buildings), Moscow, Akademiya, 2006, pp. 368.

4. Shelekhov P.Yu., Acheeva E.A. *Ustoychivoe razvitiye gornyykh territoriy*. 2011, no 3(9), pp. 91–94.

5. Trotsenko O.A. *Ugol'*. 2009, no 10, pp. 16–17.



НОВИНКИ ИЗДАТЕЛЬСТВА «ГОРНАЯ КНИГА»



Коллектив авторов
Горный информационно-аналитический бюллетень.
Специальный выпуск № 56. Глубокие карьеры
Год: 2015
Страниц: 544
ISBN: 0236–1493
UDK: 622.012.3

В докладах II Всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Глубокие карьеры», проведенной в Горном институте КНЦ РАН приведены результаты исследований в области технологических, геомеханических, экологических проблем при разработке месторождений глубокими карьерами, рассмотрены вопросы применения информационных систем при проектировании и планировании горных работ, показано современное состояние и перспективы развития технологий разработки месторождений открытым способом, другие вопросы ведения открытых горных работ на больших глубинах. Материалы конференции могут представлять интерес для широкого круга исследователей и инженеров, аспирантов и студентов высших учебных заведений, занимающихся научными и практическими проблемами открытой разработки месторождений полезных ископаемых.