

**ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ ИСПЫТАНИЯ МОБИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ
ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНОГО РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД**

Н.В. Войченко, А.И. Прима

Научный руководитель: профессор, д.т.н. Г.Е. Ремнев

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: voitenko.nik@gmail.com

**RESEARCH TESTS OF THE MOBILE UNIT FOR ELECTRO-BLASTING
DESTRUCTION OF ROCKS**

N.V. Voitenko, A.I. Prima

Scientific Supervisor: Prof., Dr. G.E. Remnev

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: voitenko.nik@gmail.com

***Abstract.** The electro-blasting destruction of rocks have been described. The experiments were carried out with the specimens of volume 0,125-0,5 m³ at the operating voltage of the high-current pulse generator 11-13 kV and maximum stored energy 95 kJ. The electro-blasts were produced in different types of rock with the boreholes depth about 0,6 from the specimen length. The average specific energy consumption is about 145 kJ/m³ for water as transmission medium, and 120 kJ/m³ for polyethylene as transmission medium.*

Введение

Применение электрического разряда в качестве инструмента для обработки твердых непроводящих и слабо проводящих материалов широко исследуется на протяжении последних десятилетий. Актуальность таких исследований обусловлена возможностью внедрения новых способов и методик для дробления и измельчения материалов, разрушения негабаритов при добыче рудных и нерудных полезных ископаемых, строительства или расширения тоннелей, дноуглубительных работ, разбора завалов, производства буронабивных свай и др. Развитие и внедрение электроразрядных технологий может в значительной мере привести к уменьшению энергозатрат и снижению вредного воздействия на окружающую среду, улучшению условий труда, увеличению производительности и качества процессов в которых они будут применяться [1,2]. Не малый вклад в исследование научно-технических решений с применением электроразрядных технологий вносит Томский политехнический университет. Одно из перспективных, активно исследуемых направлений на кафедре Высоковольтной электрофизики и силовоточной электроники – это способ шпурового электроразрядного разрушения горных пород и искусственных материалов. Суть способа состоит в использовании энергии, выделяемой в плазменном канале электрического разряда в конденсированных средах. В результате электрического пробоя и термического расширения плазменного канала происходит преобразование энергии мощного импульса тока в энергию ударных волн и быстро нарастающего импульса давления на стенки канала. Суммарное воздействие этих факторов приводит к зарождению и развитию трещин и, в конечном итоге, разрушению образца.

Испытания по разрушению негабаритов горных пород

На разработанной мобильной установке было произведено множество лабораторных экспериментов по электроразрядному разрушению бетонных блоков и отколу от бетонного монолита [3]. По результатам экспериментов были составлены рекомендации к оценке и выбору оптимальных режимов энерговодвда, получены данные о производительности способа при разрушении бетона [4]. Для дальнейшего исследования перспективного способа разрушения и накопления опытных данных, был проведен ряд экспериментов по электроразрядному разрушению горных пород. Целью испытаний являлось исследование эффективности разрушения природного камня при электровзрыве в зависимости от уровня зарядного напряжения, глубины шпура, передающей среды. Испытания проводились в “полевых условиях” на камне перерабатывающих карьерах, на образцах из известняка, долерита и кератофира объемом 0,125-0,5 м³. Электропитание мобильной установки осуществлялось от автономного бензинового генератора УГБ-6000. Для контроля режима работы, в установке предусмотрена система регистрации импульсного тока и напряжения, при помощи цифрового многоканального осциллографа. Для измерения импульсных токов использовался пояс Роговского СWT-1500. Высокое импульсное напряжение измерялось резистивно-емкостным компенсированным делителем напряжения ДНВ-25. Генератор импульсных токов(ГИТ) работал при зарядном напряжении 11-13 кВ, что при емкости накопителя 1120 мкФ позволяло запасть до 95 кДж энергии. Испытания проводились при иницировании канала разряда в одном и одновременно в двух шпурах, глубина шпуров составляла $\geq 0,6$ от минимальной длины негабарита, в качестве передающей среды использовались вода и полиэтилен. Типовые осциллограммы тока и напряжения полученные при разрушении негабаритов горных пород представлены на рис. 1.

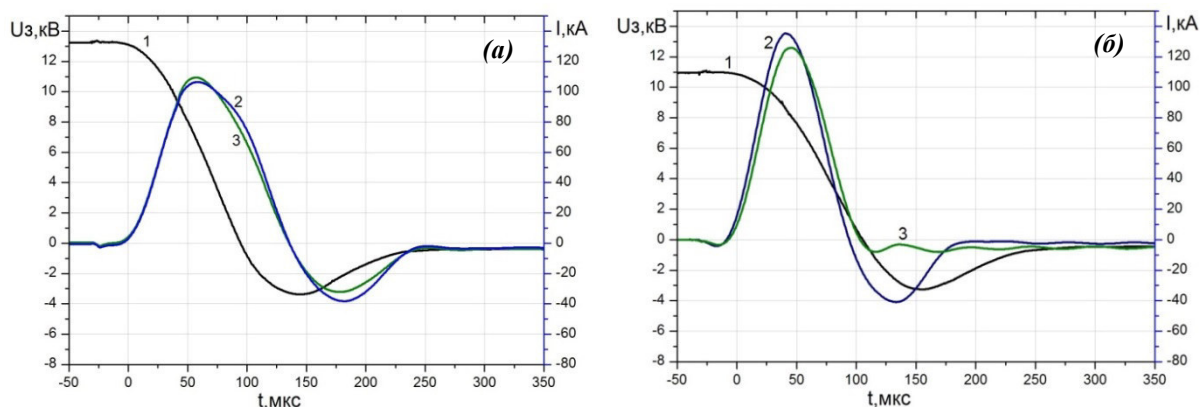


Рис. 1. Типовые осциллограммы тока и напряжения при электровзрыве, (а) передающая среда полиэтилен, (б) передающая среда вода

1 – кривая напряжения, 2 и 3 – кривые тока в двух конденсаторных батареях.

Для оценки результата электровзрыва в горной породе была произведена условная классификация степени разрушения, это разупрочнение негабарита – появление мелких и средних трещин в породе, раскол негабарита – появление магистральных трещин по оси шпура и разделение куска породы на 2-3 части, фрагментация негабарита – разделение породы на несколько частей (от 3 до 10) с образованием магистральных трещин в различном направлении, разрушение негабарита – разделение породы на множество частей (более 10) различного размера. Данные, полученные при проведении испытаний, представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Тип породы	Объем, м ³	Напряжение, кВ	Глубина шпура, см	Затраченная энергия, кДж	Ток, кА	Результат
Передающая среда - вода						
Известняк	0,31	11	35	34	123	Разупрочнение образца
	0,26	12	30	40	138	Раскол образца на 3 части
	0,29	12	40	40	136	Фрагментация на 5 частей
Долерит	0,28	11	35	34	126	Раскол образца на 3 части
	0,30	12	60	40	139	Раскол образца на 3 части
	0,255	12	45	40	142	Фрагментация на 5 частей
Кератофир	0,24	11	30	34	133	Фрагментация на 6 частей
	0,32	12	35	40	146	Фрагментация на 6 частей
	0,265	13	40	47	160	Разрушение образца
	0,29	13	30	47	158	Разрушение образца
Передающая среда - полиэтилен						
Известняк	0,32	11	35	34	101	Раскол образца на 3 части
	0,36	12	50	40	108	Фрагментация на 4 части
	0,28	12	45	40	110	Фрагментация на 6 частей
	0,36	13	55	47	113	Разрушение образца
Долерит	0,31	11	60	34	103	Фрагментация на 7 частей
	0,28	12	35	40	105	Фрагментация на 6 частей
	0,33	12	35	40	112	Разрушение образца
Кератофир	0,27	11	35	34	104	Разрушение образца
	0,33	12	35	40	110	Разрушение образца
	0,42	13	30	47	111	Разрушение образца
	0,44	13	55	47	112	Разрушение образца

Заключение

По результатам сравнения экспериментальных данных для двух сред, окружающих канал разряда и передающих ударную волну в материал, можно отметить, что амплитуда тока в полиэтиленовом картридже в среднем на 20% ниже, чем в воде, при неизменных параметрах контура. Эффект капиллярного разряда позволяет увеличить амплитуду давления генерируемой волны и с меньшими потерями передать её в разрушаемый материал. Совокупность отмеченных факторов позволяет проводить разрушение негабаритов с большей эффективностью. Из проведенных экспериментов было установлено, что для разрушения негабаритов горных пород размером не более 0,5м³ требуется 40-50 кДж энергии, дальнейшее увеличение запасаемой энергии не целесообразно и будет приводить к дополнительным энергозатратами. В среднем удельные затраты энергии составили 145 кДж/м³ при использовании воды в качестве передающей среды и 120 кДж/м³ при использовании полиэтилена.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bluhm H., Frey W., Giese H. et. al., Application of Pulsed HV Discharges to Material Fragmentation and Recycling // IEEE Transactions on Dielectric and Electrical Insulation. – 2000. – №5 – P. 625–636.
2. Hofmann J. and Th. Weise H.G.G. Pulsed Power Technologies for Commercial Material Reduction and Crushing Applications // Digest of 11th IEEE Pulsed Power Conf. – Baltimore, USA, – 1997. – P. 203-207.
3. Voitenko N., Yudin A., Mobile Electric-Discharge Blasting Unit for Splitting off and Destruction of Rocks and Concrete // Key Engineering Materials – 2016 – Vol. 685, pp 705-709.
4. Voitenko N., Yudin A., A phased splitting off from the high-strength concrete by an electro-blasting method // AIP Conference Proceedings – 2016 – Vol. 1772 – 040011.