

**ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК УСТАНОВКИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНОГО  
РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД И БЕТОНА**

Н.В. Войтенко, А.С. Юдин, Н.С. Кузнецова, А.А. Кладько

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](mailto:voitenko.nik@gmail.com)

**EVALUATION OF ENERGY CHARACTERISTICS OF HIGH VOLTAGE EQUIPMENT FOR  
ELECTRO BLASTING DESTRUCTION OF ROCKS AND CONCRETE**

N.V. Voitenko, A.S. Yudin, N.S. Kuznetsova, A.A. Kladko

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

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

E-mail: [voitenko.nik@gmail.com](mailto:voitenko.nik@gmail.com)

***Annotation.** The splitting off and destruction of concrete via electro-blast technology have been described. Several series of experiments of multi-borehole electro-blast with electrical discharge initiation by exploding have been carried out. The volume of splitted concrete and total consumed energy in one series of electro-blast were estimated. Based on the experiments' results the efficiency of high voltage equipment is (0,85 – 0,9) m<sup>3</sup>/h.*

**Введение.** Электроразрядный способ разрушения основан на использовании энергии, выделяемой в плазменном канале электрического разряда при протекании через него мощного импульса тока. Данный способ позволяет производить разрушение негабаритов горных пород и бетонных блоков, а также реализовывать направленный откол от монолита. Особенностью электроразрядных установок является импульсное воздействие на разрушаемый объект. С одной стороны, для инициирования трещин требуется крутой фронт импульса, с другой – для роста магистральных трещин требуется длинный импульс. Выполнить оба требования в одной установке затруднительно. Производительность электроразрядного разрушения горных пород и бетона зависит от эффективности преобразования накопленной электрической энергии в энергию ударных волн и от длительности выделения энергии во время электровзрыва [1,2]. С целью увеличения времени воздействия на стенки разрушаемого материала, нами были проведены исследования по совместному воздействию импульса электрического разряда и энергии газогенерирующего химического состава.

**Описание** установки. Для проведения экспериментальных исследований шпурового электроразрядного откола и разрушения горных пород и бетона использовался мобильный комплекс, созданный на базе кафедры ТЭВН Томского Политехнического Университета. Мобильный комплекс представляет собой генератор импульсных токов (ГИТ), размещенный в изотермическом контейнере, имеющий следующие характеристики:  $W_{\text{макс}} = 126$  кДж,  $U_{\text{зар макс}} = 15$  кВ, длина высоковольтных кабелей 12 м, масса 4,2 т.

**Результаты** экспериментального разрушения железобетонного фундамента. Эксперименты по много шпуровому электроразрядному отколу производились при разрушении железобетонного

фундамента. В качестве рабочего инструмента использовался электровзрывной картридж (ЭК). ЭК крепился к специальному электроду, выполненному из отрезка кабеля РК 50-17-17, который в свою очередь подключался к подводящему кабелю. Инициирование канала разряда происходило за счет взрыва тонкого медного проводника внутри ЭК [3,4].

Для увеличения длительности выделения энергии, а также создания дополнительных механических нагрузок за счет нарастающего давления в шпуре, был использован газогенерирующий состав – смесь нитрата аммония и дизельного топлива. Каждый ЭК наполнялся 18-20 граммами смеси. Энергетический вклад такого химического состава 3,8 кДж/г. При выполнении некоторых условий его можно отнести к пиротехническим смесям. Как известно, условием детонации является обеспечение минимального критического диаметра цилиндрического заряда взрывчатого вещества, при котором возможна детонация. Так как критический диаметр данной смеси равен 50 мм [5], а диаметр шпуров в наших экспериментах составлял 26 мм, то соблюдалось условие, исключающее возможность перехода реакции горения в режим детонации.

Во время инициирования электровзрыва происходило выделение газа, создающего дополнительное давление в шпуре. С целью увеличения времени воздействия повышенного давления на стенки шпура, производилось тампонирующее последствие строительным гипсом. Схема расположения шпуров и результаты серии электровзрывов с использованием газогенерирующего состава представлены на рис. 1.

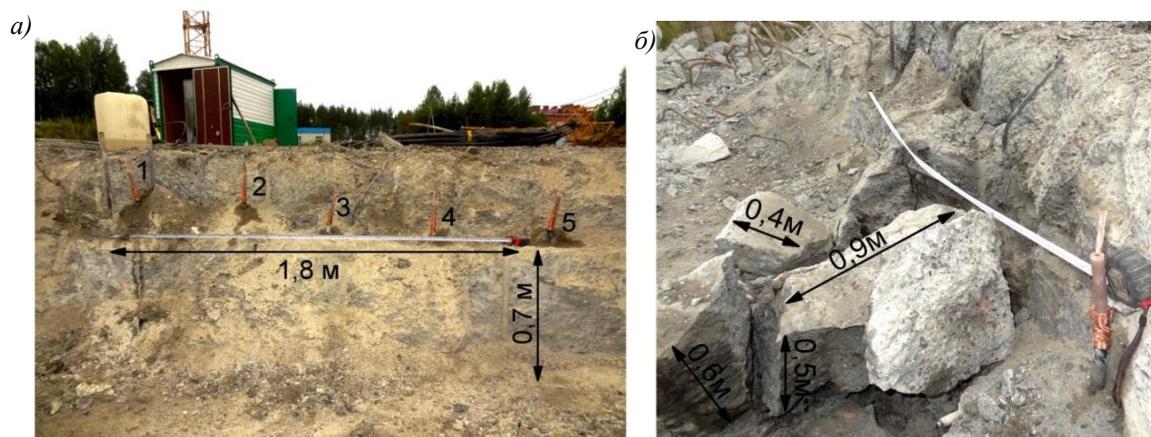


Рис.1. Результаты экспериментов по электроразрядному разрушению бетона,  
 (а)-расположение шпуров,(б)-результат электровзрывов

Эксперименты проводились при расположении шпуров на расстоянии 40-50 см друг от друга, расстояние от края свободной поверхности 40 см, глубина шпуров 70 см. К каждому электроду последовательно подключались подводящие кабели и подавался высоковольтный импульс с энергией 95 кДж. В результате, для разрушения запланированного участка (рис.1 а), потребовалось четыре из пяти заранее подготовленных электродов с ЭК.

По результатам расчетов при разряде 30-35 % накопленной электрической энергии рассеивается в виде омических потерь в подводящем кабеле и активном сопротивлении соединительных шин. Из общего количества энергии, введенной в ЭК, на разрушение материала затрачивается 9-10 % , остальная часть расходуется на инициирование канала разряда, ионизацию и нагрев плазмы. Суммарная энергия, затраченная на откол участка бетона объемом 0,42 м<sup>3</sup> с учетом энергетического вклада от

## «ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ НАУК»

газогенерирующего состава, равна 680 кДж (рис. 1 б). По изложенной методике был произведен ряд экспериментов с различным количеством шпуров. В таблице 1 приведены результаты экспериментов.

В [6] представлены различные методы разрушения твердых материалов с соответствующей удельной энергией разрушения. Результаты экспериментов дают возможность провести сравнение электроразрядного способа с существующими методами. Удельные энергозатраты при электроразрядном разрушении на порядок ниже, тогда как производительность по объему разрушенного материала значительно меньше, чем у традиционно применяемых способов разрушения горных пород и бетона.

Таблица 1

Результаты экспериментов

№	Количество шпуров	Затраченная энергия, кДж	Отколотый объем, м <sup>3</sup>	Удельные энергозатраты, кДж/м <sup>3</sup>
1	4	680	0,42	1619
2	4	680	0,38	1790
3	2	340	0,22	1545
4	2	340	0,25	1360
5	4	680	0,44	1545
6	5	850	0,58	1465

**Обсуждение результатов.** Скорость выполнения работ по электроразрядному разрушению твердых материалов складывается из времени бурения шпура, установки в него электродов с ЭК и времени заряда емкостного накопителя энергии. На проведение одного электровзрыва затрачивается 6-8 минут, время на расчистку отколотых кусков не учитывается. Из таблицы 1 видно, что в среднем для откола 1 м<sup>3</sup> бетона от монолита, требуется затратить 1554 кДж энергии. При оптимальном, с точки зрения энергоуклада и ресурса оборудования, режиме работы установки для ввода такого количества энергии потребуется 9 – 10 шпуров. Следовательно, производительность установки  $\approx (0,85 - 0,9)$  м<sup>3</sup>/ч. Для применения данной технологии в промышленности требуется увеличить производительность, что может быть достигнуто за счет увеличения энергозапаса установки, снижения потерь и более эффективной передачи энергии разрядного контура в энергию механических напряжений.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Юткин Л.А. Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности. – Л.: Машиностроение, 1986. – 253 с.
- 2 Протасов Ю.И. Разрушение горных пород. М.: Изд. Московского государственного горного университета, 2001. – 453 с.
- 3 Yudin A.S., Kuznetsova N.S., Lopatin V.V. and Voitenko N.V. Multi-borehole electro-blast method for concrete monolith splitting off // Journal of Physics: Conference Series. – 2014 – Vol. 552, Article number 012028. – p.
- 4 Иванов Н.А., Пивоваров М.И., Войтенко Н.В., Юдин А.С. Шпуровое разрушение горных пород и бетона // Известия Томского политехнического университета, 2012. – Т. 321. – № 2. – С. 136–140.
- 5 Шидловский А.А. Основы пиротехники – М.: «Машиностроение», 1973 – 320 с.
- 6 Курец В.И., Усов А.Ф., Цукерман В.А. Электроимпульсная дезинтеграция материалов. – Апатиты: КНЦ РАН, 2002 – 324 с.