

## ВЛИЯНИЕ ИНДУКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОДОВ НА ФОРМИРОВАНИЕ МНОГОКАНАЛЬНОГО ПРОБОЯ В ГОРНОЙ ПОРОДЕ

*Е.В. ПЕТРЕНКО, А.С. ЮДИН*

Томский политехнический университет

E-mail: [evgenius293@mail.ru](mailto:evgenius293@mail.ru)

Эффект внедрения разряда в твердый диэлектрик, находящийся под слоем жидкости был открыт в середине XX века. [1]. На его основе предложены и разработаны такие электроразрядные технологии разрушения и модификации материалов, как бурение, резание, снятие поверхностного слоя и дробление. Анализ публикаций в мире по теме электроразрядного разрушения показывает, что на сегодняшний день интерес к электроразрядным технологиям обработки материалов, таким как бурение или дробление стремительно возрастает [2-4].

К настоящему времени в электроразрядных технологиях назрела проблема повышения производительности процесса электроимпульсного откола материала от массива породы, которая может быть решена путем организации пробоя сразу в нескольких межэлектродных промежутках. При этом нет необходимости увеличивать напряжение или интенсивность промывки, однако нужен более короткий фронт импульса напряжения. Вместе с тем электродная система должна обладать необходимой конструктивной емкостью и индуктивностью для обеспечения условий формирования многоканального пробоя.

В ходе данной работы были получены экспериментальные данные по пробую песчаника в воде при различной индуктивности электродов. Индуктивность изменялась за счет двух вариантов подключения электродов к выходу генератора импульсных напряжений. В первом варианте для обеспечения разделения индуктивностей электродов, каждый электрод был подключен независимым проводником длиной 1,5 м. Во втором варианте для уменьшения индуктивности отдельных электродов, проводники были объединены в точке подключения к электродной системе.

Электроды на образцах размещались в трех различных положениях согласно схеме приведенной на рисунке 1. В каждом положении было подано по одному импульсу напряжения.

Для варианта с отдельными проводниками в первом положении произошел откол в третьем и пятом межэлектродном промежутке (Рисунок 2а). Во втором и третьем положении обнаружено внедрение в первом, третьем и пятом промежутках. Общий объем отколотого материала можно рассчитать как  $V_{\text{общ}} = V_1 + V_2 + V_3 = 0,8 \text{ мм}^3 + 0,2 \text{ мм}^3 + 0,2 \text{ мм}^3 = 1,2 \text{ мм}^3$ , где  $V_1, V_2, V_3$  – объем отколотого материала для соответствующего положения электродов. Данные эксперимента приведены в таблице 1.

Для варианта с объединенными проводниками в первом положении произошел откол в центральном промежутке, в первом и пятом – внедрение (Рисунок 2б). Во втором положении – откол снова произошел в третьем промежутке, а в пятом промежутке – внедрение. В третьем положении – откол в двух промежутках. Общий объем отколотого материала рассчитывался, как и в предыдущем эксперименте  $V_{\text{общ}} = V_1 + V_2 + V_3 = 1,3 \text{ мм}^3 + 0,5 \text{ мм}^3 + 2,3 \text{ мм}^3 = 4,1 \text{ мм}^3$

Таблица 1 – Данные экспериментов по пробую песчаника при разной индуктивности электродов

№ положен ия	Раздельные проводники				Объединенные проводники			
	U <sub>з</sub> (кВ)	U <sub>а+</sub> (кВ)	U <sub>а-</sub> (кВ)	Объем, мм <sup>3</sup>	U <sub>з</sub> (кВ)	U <sub>а+</sub> (кВ)	U <sub>а-</sub> (кВ)	Объем, мм <sup>3</sup>
1	35,2	128,4	117	0,8	36,1	99,7	112,5	1,3
2	35,2	139,8	121,6	0,2	36,1	111	109,4	0,5
3	36,1	129,2	136,8	0,2	36,1	149	109,4	2,3

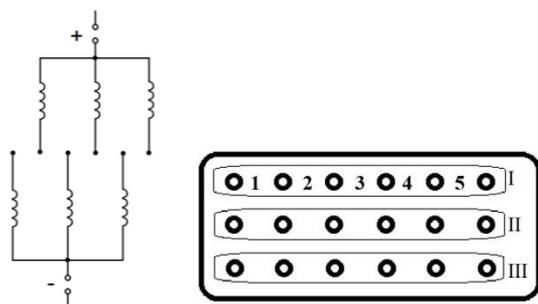


Рисунок 1 – Положение электродов на образце

1, 2, 3, 4, 5 – номера межэлектродных промежутков; I, II, III – положение электродов



а)



б)

Рисунок 2 – Внешний вид образцов песчаника после подачи импульсов напряжения с разным местоположением электродов

а) Раздельная индуктивность; б) Объединенная индуктивность

При раздельной индуктивности электродов, энергия электроимпульсного разряда распределяется примерно одинаково между всеми электродными промежутками, поэтому объем отколотого материала между ними одинаковый. При объединении индуктивностей, большая часть энергии проходит через какой-то один промежуток, поэтому объем отколотого материала в одном из этих промежутков значительно превосходит остальные. Объем отколотого материала между промежутками при объединенной индуктивности больше, чем при раздельной.

Можно сделать вывод, что чем больше индуктивность проводов, соединяющих электроды с батареей конденсаторов, тем проще осуществить многоканальный пробой, однако по технологическому эффекту он уступает одноканальному. Однако, есть ряд и других факторов, влияющих на возникновение многоканального пробоя, таких как: проводящая среда, полярность импульса, запас энергии в импульсе, фронт импульса, определив влияние и подобрав оптимальные параметры которых, можно добиться лучшего технологического эффекта.

#### Список литературы

1. Воробьев А.А., Воробьев Г.А., Чепиков А.Т. Закономерности пробоя твердого диэлектрика на границе раздела с жидким диэлектриком при действии импульса напряжения // Свидетельство на открытие. Диплом №107, 27.07.1999 с приоритетом от 14.12.1961
2. Ushakov V.Ya., Vazhov V.F., Zinoviev N.T. Electro-Discharge Technology for Drilling Wells and Concrete Destruction. Basel: Springer Nature Switzerland AG; 2019
3. Anders E., Voigt M., Lehmann F. Electric Impulse Drilling: the future of drilling technology begins now. ASME. International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering, Polar and Arctic Sciences and Technology; Petroleum Technology. 2017;8:V008T11A024. doi:10.1115/OMAEE2017-6110
4. Molchanov D., Vazhov V., Lavrinovich I., Lavrinovich V., Ratakhin N. Downhole generator based on a line pulse transformer for electro pulse drilling // 2017 IEEE 21st International Conference on Pulsed Power (PPC) Tomsk, 2017.