

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОБОЯ УВЛАЖНЕННЫХ ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ ИМПУЛЬСНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ НАПРЯЖЕНИЯ

В. С. МАЛАХОВ, И. И. КАЛЯЦКИЙ, В. В. КРИВКО

Укрепление экономической базы страны требует внедрения во всех областях народного хозяйства новых, более прогрессивных технологических процессов, увеличения производительности труда, снижения себестоимости продукции. В современных условиях большого объема горно-геологических работ, наряду с совершенствованием существующих способов разрушения горных пород, разрабатываются и внедряются новые, наиболее эффективные способы с использованием новых видов энергии (электрической, тепловой, электромагнитной и др. [1, 2]). Использование электрической энергии без промежуточных преобразований ее в механическую энергию разрушения является наиболее перспективным. Создание принципиально новых установок для разрушения горных пород и отработка технологических режимов требуют обширных знаний по электрофизическим характеристикам горных пород (удельные сопротивления, диэлектрическая проницаемость, электрическая прочность и др.). Наряду с достаточно большим количеством данных по удельному электрическому сопротивлению и диэлектрической проницаемости горных пород [3], сведения по импульсной электрической прочности весьма ограничены [4], а данные по влиянию различных факторов на импульсную электрическую прочность горных пород (влажность, пористость, минералогический состав, структура и др.) совершенно отсутствуют.

В настоящей работе изложены результаты экспериментальных исследований импульсного электрического пробоя некоторых видов сухих и увлажненных горных пород в широком интервале времени воздействия напряжения в резко неоднородном поле. Приведены данные по исследованию зависимости пробивного напряжения горных пород от пропитки их изолирующей жидкостью. Данные по вольтсекундным характеристикам импульсного пробоя горных пород, наряду с использованием их при конструировании установок для разрушения горных пород, могут представить интерес для расчета и конструирования заземлителей в скальных грунтах [5].

Методика экспериментов

В исследованиях источником однократных высоковольтных импульсов служил многоступенчатый генератор импульсных напряжений (ГИН) на 480 кв с емкостью в разряде 6250 нф.

Для регистрации импульсных напряжений применялся электронный осциллограф ОК-19М с емкостным делителем напряжения. Совместная градуировка осциллографа и делителя по амплитуде напряжения производилась с помощью шаровых разрядников на стандартной волне $1,5/40$ мксек на импульсах положительной полярности. В исследованиях использовались образцы песчаника среднезернистого, плагиогранита, алевропелита, мрамора мелкозернистого и мрамора крупнозернистого. Плоскопараллельные образцы горных пород с размерами $50 \times 50 \times 10$ мм нарезались на камнерезном станке — полуавтомате типа САСП-1. Содержание влаги в образцах горных пород оценивалось по разности весов образцов, высушенных в термостате при $t = 105^\circ\text{C}$, и увлажненных образцов (образцы выдерживались в обычной технической воде с сопротивлением $\rho = 0,15 \cdot 10^{-3}$ ом/см в течение 10 суток).

Для устранения краевого эффекта [6] при импульсном пробое на одной из поверхностей образца горной породы высверливалась коническая лунка с углом конуса 45° , другая поверхность образца шлифовалась.

Чтобы исключить перекрытие образцов выбранных размеров по поверхности, эксперимент проводился в трансформаторном масле с прочностью 35 кВ в стандартном пробойнике. Толщина образцов в месте пробоя принималась равной 10 мм и измерялась прибором ИЗВ1 с точностью до 0,01 мм.

Исследования влияния пропитки горных пород трансформаторным маслом на их пробивное напряжение проводились на образцах песчаника и мрамора крупнозернистого. Вольтсекундные характеристики указанных выше горных пород снимались на образцах, покрытых пленкой парафина. Это устраняло проникновение трансформаторного масла в поры горной породы и не влияло на пробивное напряжение пород. Образцы без покрытия парафином перед пробоем выдерживались в трансформаторном масле в течение 24 часов.

Электроды служили латунные пластины диаметром 120 мм и стержень диаметром 8 мм с впрессованным на конце молибденовым наконечником с углом в вершине 45° . Однократные импульсы положительной полярности подавались на стержень, плоскость заземлялась.

Пробой проводился на фронте одиночного импульса. Вероятность пробоя принималась равной $\Psi = 90\%$. Каждая точка вольтсекундных характеристик получена на основании обработки 20 и более осциллограмм пробоя. Максимальное отклонение пробивных напряжений от среднего значения не превышало 20%.

Результаты экспериментов и их обсуждение

На рис. 1 представлены вольтсекундные характеристики мрамора, увлажненного и сухого, плагиогранита увлажненного и сухого, алевропелита увлажненного и песчаника увлажненного при пробое их в резко неоднородном поле с расстоянием между электродами 10 мм. Данные рис. 1 показывают, что с уменьшением времени воздействия напряжения от $2 \cdot 10^{-6}$ до $2 \cdot 10^{-7}$ сек пробивное напряжение всех исследованных горных пород (независимо от влагосодержания) увеличивается в среднем на 60%. Например, для плагиогранита при $t_p = 0,2$ мксек $U_{пр} = 217$ кВ, а при $t_p = 2$ мксек $U_{пр} = 134$ кВ. Увеличение пробивного напряжения с уменьшением длительности воздействующего напряжения связано с явлением запаздывания разряда по аналогии с импульсным пробоем жидких и твердых диэлектриков [7].

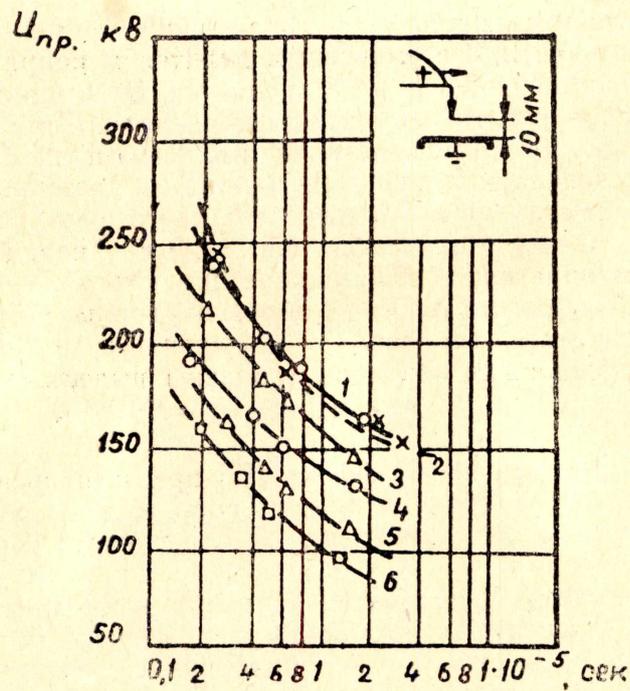


Рис. 1 Вольтсекундные характеристики пробоя горных пород в неоднородном поле при положительном острие. 1—мрамор, влажность 0,8%, 2—алевропелит, влажность — 0,5%, 3—плаггиогранит, влажность — 0,5%, 4—мрамор сухой, 5—плаггиогранит сухой, 6—песчаник, влажность — 1,5%.

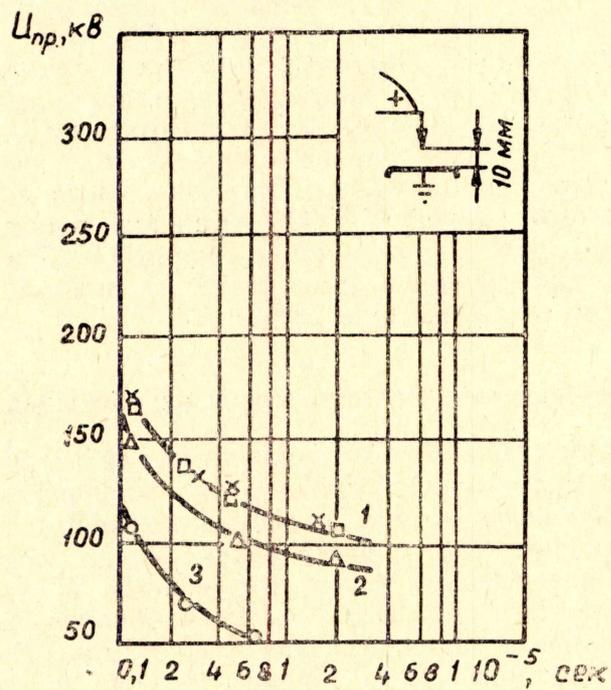


Рис. 2 Вольтсекундные характеристики пробоя горных пород в неоднородном поле при положительном острие. 1—мрамор и песчаник, пропитанные трансформаторным маслом, 2—песчаник, покрытый парафином, 3—мрамор, покрытый парафином.

Пробивное напряжение увлажненных горных пород во всем исследованном интервале времен воздействующего напряжения превышает пробивное напряжение сухих пород порядка на 25%.

Известно [8], что импульсное пробивное напряжение технической воды в неоднородном поле при расстояниях между электродами 10 мм и времени воздействия напряжения от $3 \cdot 10^{-7}$ до $1 \cdot 10^{-5}$ сек составляет 20—70 кв, а импульсная прочность воздуха для тех же условий 25—30 кв. Заполнение воздушных пор образцов водой и приводит к увеличению импульсного пробивного напряжения увлажненных горных пород. Следует заметить, что для горных пород, имеющих в своем составе легко растворимые соли, увлажнение может привести к снижению их пробивного напряжения, так как электрическая прочность растворов солей, кислот и щелочей значительно ниже прочности технической воды [9].

На рис. 2 приведены вольтсекундные характеристики горных пород, сухих и пропитанных трансформаторным маслом. Из рис. 2 следует, что разница в пробивных напряжениях между сухими горными породами и пропитанными трансформаторным маслом во всем исследованном диапазоне времен от $1,2 \cdot 10^{-7}$ до $2 \cdot 10^{-6}$ сек достигает порядка 25—35%. Например, для мрамора сухого при $t_p = 0,3$ мксек $U_{пр} = 68$ кв, а для пропитанного трансформаторным маслом при $t_p = 0,3$ мксек $U_{пр} = 132$ кв. Увеличение пробивного напряжения пропитанных образцов мрамора и песчаника обусловлено тем, что трансформаторное масло имеет более высокое пробивное напряжение для аналогичных условий опыта [8]. В данных экспериментах (рис. 2) разница пробивных напряжений пропитанных и непропитанных образцов для песчаника несколько меньше, чем для мрамора. Это связано с заполнением открытых пор некоторого поверхностного слоя образцов песчаника парафином (вследствие его большей пористости) в процессе изготовления образцов.

Выводы

Полученные результаты экспериментальных исследований пробоя горных пород сухих, увлажненных и пропитанных трансформаторным маслом, на импульсах положительной полярности позволяют сделать следующие выводы:

1. Превышение пробивных напряжений увлажненных горных пород над пробивными напряжениями сухих горных пород в интервале времен воздействия напряжения $2 \cdot 10^{-7}$ — $2 \cdot 10^{-6}$ сек составляет не более 25%.

2. Пропитка пористых горных пород жидкостью с высокой электрической прочностью (трансформаторное масло) увеличивает их пробивное напряжение на 25—35%.

3. В технологических схемах разрушения горных пород с использованием энергии электрических разрядов для разрушения увлажненных горных пород или пород, пропитанных жидкостью с высокой электрической прочностью, необходимо увеличение амплитуды напряжения в среднем на 25%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Е. Ф. Эпштейн, Э. И. Арш, Г. К. Виторт. Новые методы разрушения горных пород, Гостоптехиздат, 1960.
2. С. С. Сулакшин. Основы теории разрушения горных пород и удаление продуктов разрушения из скважин. Изд. Томского университета, 1964.

3. В. Н. Кобранова. Физические свойства горных пород. Гостоптехиздат, 1962.
 4. А. И. Лимасов, А. Т. Чепиков. Пробой диэлектриков и полупроводников (сборник докладов), Изд-во «Энергия», 1964.
 5. В. В. Кривко, А. И. Лимасов, А. Т. Чепиков. Исследование импульсной электрической прочности скальных грунтов. (Сборник докладов Всесоюзной конференции по заземлителям), Харьков, 1966.
 6. А. А. Воробьев, Г. А. Воробьев, В. Д. Кучин. О методике определения пробивного напряжения твердых диэлектриков в неоднородном поле. Изв. ТПИ, т. 91, 1956.
 7. Г. И. Сканава. Физика диэлектриков. Гостехиздат, 1949.
 8. И. И. Каляцкий, В. В. Кривко. Пробой диэлектриков и полупроводников (сборник докладов), Изд-во «Энергия», 1964.
 9. Б. В. Семкин, А. Т. Чепиков, А. М. Миронов. Импульсный пробой электролитов при малых временах воздействия напряжения, Изв. ТПИ, т. 149, 1966.
-