Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени горного института им.Г.В.Плеханова,
т. LXXXII, 1980 г.

УДК 550:622

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГОРНЫХ ПОРОД С ИХ НАПРЯЖЕННЫМ СОСТОЯНИЕМ

Е.А.МАРКИНА, И.А.ЛИВШИЦ

Применение электрометрии для оценки напряжений в массиве горных пород предполагает как один из этапов исследования изучение зависимости электрических свойств горной породы от ее механического состояния. Очевидно[x], что для успешного применения электрометрии при измерении напряжений в массиве горных пород необходимо провести комплекс исследований взаимосвязей электрических, физико-механических и водно-физических свойств породы и проследить характер их изменения при изменении механического состояния породы.

На кафедре разработки пластовых месторождений ЛГИ изучались образцы осадочных пород (уголь антрацит, песчаник) Восточного Донбасса, взятых в пределах шахтного поля шахты им.50-летия Октября п/о „Гуковуголь" на глубине 550 м. Образцы парафинировались сразу же после выбуривания и шлифовки торцовых поверхностей, имели цилиндрическую форму, длину 80 мм, диаметр 42 мм. Всего было исследовано 50 образцов. Измерялись следующие параметры: плотность ρ, электропроводность γ, весовая влажность w, скорость распространения продольных упругих волн v, продольные и поперечные деформации, предел прочности на одноосное сжатие $\sigma_{сж}$.

Исследования проводились в условиях одноосного нагружения с одновременным измерением всех указанных физических параметров. Образец подвергался нагружению в несколько циклов. Предельные нагрузки в каждом цикле и шаг нагружения выбирались в соответствии с механической прочностью образца и степенью изменения исследуемых физических свойств. Измерения производились при фиксированных нагрузках после получения стабильных значений наиболее значительно меняющихся величин γ и v. Последний цикл заканчивался разрушением образца.

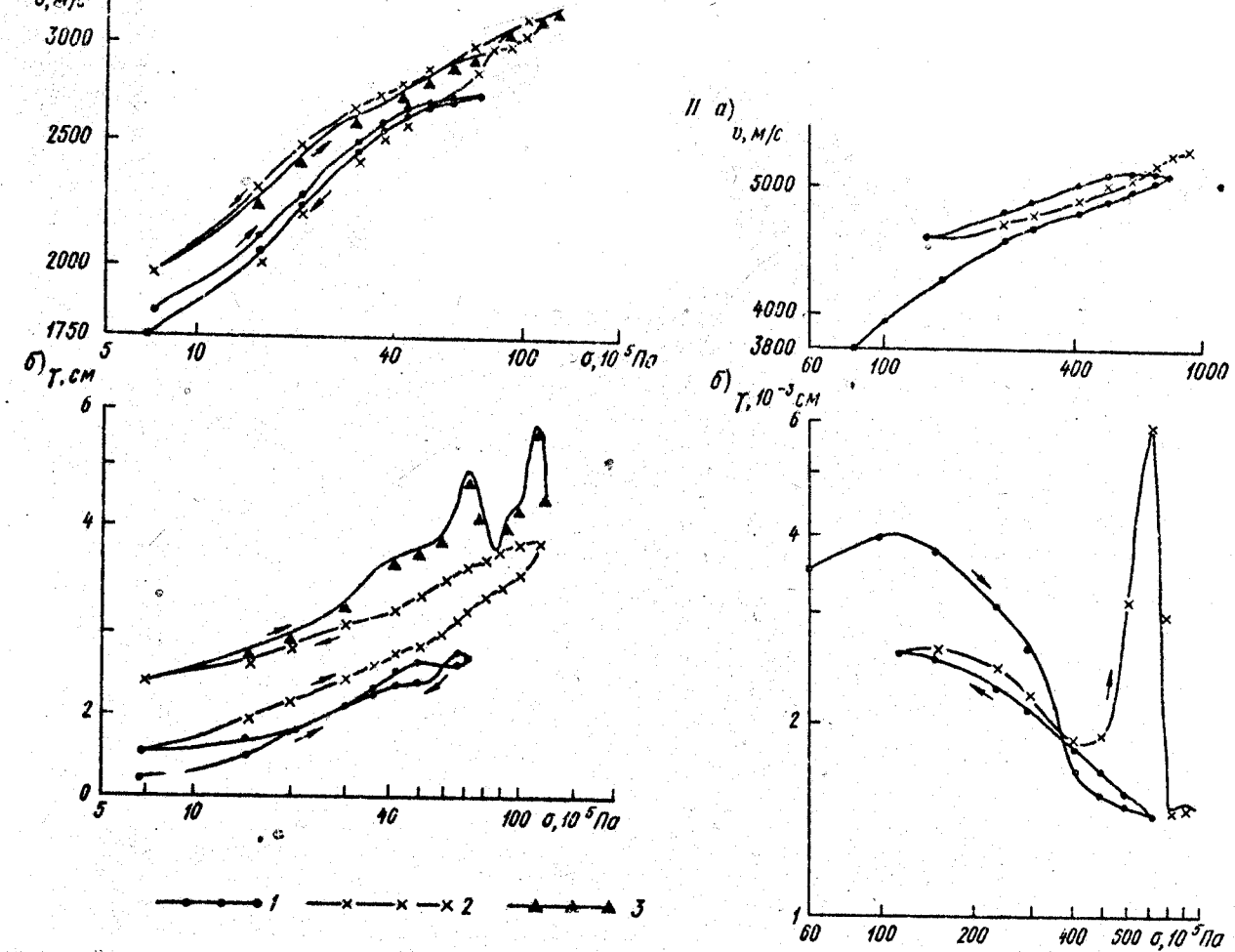
---

[x] А.А.Борисов, Э.Х.Вишняков, Е.А.Маркина и др. К вопросу оценки напряжений в массиве на базе электрометрических измерений. – В кн.: Рудничная геоэлектрика. Кемерово, изд. КузПИ, 1977 (межвуз. сб.).

Физические параметры исследуемых горных пород

Группа образцов	$\sigma_{сж}$, 10^6 Па	ρ, г/см^3	ω, %	E, 10^4 Па	μ	v, м/с	Δv, %	γ_0, См	$\Delta\gamma$, %
				Песчаник					
1	2902 ± 2	$2,694\pm0,043$	$0,16\pm0,012$	$(37,1\pm0,7)$	$0,16\pm0,03$	4387 ± 180	18	$(0,4\pm0,07)\cdot10^{-4}$	107
2	1973 ± 204	$2,694\pm0,043$	$0,31\pm0,007$	$(30,0\pm2,0)$	$0,24\pm0,03$	3937 ± 40	45	$(3,7\pm0,9)\cdot10^{-4}$	540
3	790 ± 140	$2,694\pm0,043$	$0,22\pm0,002$	$(44,8\pm0,9)$	$0,21\pm0,03$	3662 ± 108	72	$(1,18\pm0,07)\cdot10^{-4}$	270
				Уголь					
1	$197,3\pm12,1$	$1,52\pm0,004$	$3,98\pm0,08$	$(4,2\pm0,04)$	$0,28\pm0,08$	2397 ± 22	69	$8,98\pm0,02$	135
2	$169,4\pm4,9$	$1,52\pm0,004$	$4,7\pm0,08$	$(4,75\pm0,02)$	$0,31\pm0,08$	2310 ± 176	28	$6,92\pm0,07$	79
3	$142,3\pm10,6$	$1,52\pm0,004$	$2,9\pm0,08$	$(2,98\pm0,02)$	$0,22\pm0,08$	1922 ± 90	83	$2,17\pm0,56$	240

Примечание. γ_0 – удельная электропроводность в нормальных условиях ($\sigma = 0$).



Характерные кривые изменения скорости распространения упругих волн (а) и электропроводности (б) с изменением нагрузки на образцы при различных (1–3) циклах нагружения

I – уголь; II – песчаник

Стрелками показаны прямой и обратный ход нагружения

Результати исследований представлены в таблице и на рисунке.

Образцы горных пород были разделены на три группы, определяющими характеристиками которых является тип породы и место отбора. Установлено, что плотность однотипных пород независимо от места отбора отличается большой стабильностью (см.таблицу) и практически не меняется при изменении давления при одноосном сжатии.

Общий анализ результатов исследований показал, что при циклическом нагружении образцов до значений $\sigma \leqslant 0{,}5\,\sigma_{сж}$ после снятия нагрузки параметры γ и v возвращаются к начальным значениям с погрешностью не более 10 %. Это свидетельствует о том, что исследования ведутся в области упругих деформаций. Исключение составляют образцы с ярко выраженной трещиноватостью (см.рисунок, I,б).

Характер изменения скорости распространения упругих волн с изменением величины нагрузки практически одинаков для всех типов исследованных горных пород. До $\sigma = 0{,}5\,\sigma_{сж}$ скорость значительно увеличивается, затем при увеличении нагрузки до 65–70 % от разрушающей относительные изменения скорости уменьшаются. До $\sigma \approx 0{,}85\,\sigma_{сж}$ значения скорости остаются практически постоянными, затем начинаются пиковые изменения, непосредственно предшествующие разрушению и сопровождающие его начало (см.рисунок, а). Для разных типов пород различен только диапазон изменения скорости при нагружении образца до разрушения. Образцы со сравнительно большим значением модуля упругости характеризуются и большими изменениями скорости.

Кривые изменения электропроводности с изменением нагрузки оказываются более дифференцированными для разных групп и типов пород.

На угольных образцах, пока происходит уплотнение образца под нагрузкой, электропроводность увеличивается; когда начинается разрушение, электропроводность резко падает. Для песчаников эта зависимость имеет более сложный характер. Это, видимо, связано с тем, что в отличие от антрацита, в котором преобладает в основном электронная проводимость, в песчаниках основное значение имеет ионная проводимость, и их электрические свойства в большей степени зависят от состояния порового пространства и влаги в нем.

Для влажных образцов песчаника, не отличающихся большими значениями предела прочности, характер изменения $\gamma(\sigma)$ аналогичен характеру изменения γ для угольных образцов. У более монолитных прочных образцов существует такой диапазон нагрузок, когда уплотнение приводит к закрытию пор и поровых каналов, что сопровождается падением электропроводности образца. Затем, если разрушение идет постепенно, при появлении трещиноватости γ возрастает, а при разрушении резко уменьшается (см.рисунок, II,б).

В общем случае вид кривых $\gamma(\sigma)$ в значительной степени зависит от механического состояния образца. Кривые для неоднородных и трещиноватых образцов имеют пилообразный характер и позволяют проследить процесс постепенного разрушения образца (см.рисунок, I,б). Участки кривых с увеличением γ в данном случае соответствуют уплотнению образца, участки падения величины γ – моментам частичного разрушения его.

Сравнительный анализ кривых $\gamma(\sigma)$ и $v(\sigma)$ позволяет установить, что у образцов влажных горных пород электропроводность меняется в большем диапазоне, чем скорость распространения упругих волн. Скорость распространения упругих волн в образцах с объемной влажностью 0,84-7,2 % определяется в основном прочностными и упругими свойствами породы. Характер изменения электропроводности пород, имеющих ионную проводимость, с изменением механического состояния в значительной степени зависит от влагосодержания. Для пород с электронной проводимостью влажность, видимо, имеет меньшее значение.

Таким образом, исследования показали высокую чувствительность электропроводности горных пород к их механическому состоянию.