

Теперь, используя (12)—(14), легко проверить, что $\beta^{\mu\nu}$ и $S^{\mu\nu}$ удовлетворяют соотношениям (2), т. е. дают алгебру Ли группы $U(1, 3)$.

Для уравнения Вейнберга β^{00} имеет собственные значения ± 1 . Собственное значение $+1$ описывает частицу с массой покоя m и спином $s = 1$. Поскольку $h_{\max} = +1$, то для уравнения Вейнберга преобразование Фолди—Ваутхойзена эквивалентно преобразованию Лоренца.

ЛИТЕРАТУРА

1. Loide R. K., Relation Between Foldy-Wouthuysen and Lorentz Transformations, Preprint FAI—8, Tartu, 1971.
2. Kursunoglu B., Phys. Rev., **D1**, 1115 (1970).
3. Weinberg S., Phys. Rev., **133B**, 1318 (1964).

Таллинский политехнический институт

Поступила в редакцию
4/VII 1972

EESTI NSV TEADUSTE AKADEEMIA TOIMETISED. 22. KOIDE
FÜSIKA * MATEMAATIKA. 1973, NR. 1

ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК ЭСТОНСКОЙ ССР. ТОМ 22
ФИЗИКА * МАТЕМАТИКА. 1973, № 1

<https://doi.org/10.3176/phys.math.1973.1.15>

УДК 622.337.2.02 : 621.3

Г. НЕЙФЕЛЬД

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ И ИЗВЕСТНЯКОВ ЭСТОНИИ

H. NEUFELD. EESTI PÕLEVKIVI JA LUBJAKIVI ELEKTRILISTE OMADUSTE UURIMINE

H. NEUFELD. UNTERSUCHUNG DER ELEKTRISCHEN EIGENSCHAFTEN DES ÖLSCHIEFERS UND KALKSTEINS ESTLANDS

Для создания автогенераторных средств контроля технологических параметров горных пород и их привязки к системам автоматизации производственных процессов необходимо предварительно исследовать электрические свойства горных пород, так как получающие широкое распространение высокочастотные методы [1, 2] контроля используют различия именно в электрических свойствах полезных ископаемых и пустых пород. Поэтому максимальный эффект при использовании этих методов в сланцевой промышленности может быть получен на основе комплексного исследования электрических свойств как сланцев, так и известняков. В данном сообщении приведены результаты исследования автором зависимостей электрических свойств сланцев и известняков от частоты внешнего электромагнитного поля, а также от их калорийности, влажности и слоистости.

Электрические свойства пород измерялись накладным конденсатором из двух одинаковых медных дисковых пластин диаметром 3 см, располо-

женных в одной плоскости на расстоянии 0,5 см друг от друга. Прикреплялись эти пластинки к фторпластовым стержням. Все исследования проводились на куметрах КВ-1 (в диапазоне 0,06—25 МГц) и Е9-5А (15—100 МГц). Расчеты относительной диэлектрической проницаемости проводились по формуле [1]

$$\varepsilon = k(C_1 - C_2) + 1, \quad (1)$$

где C_1 и C_2 — значения емкостей, отсчитываемые по шкалам куметров до и после установки образца; k — коэффициент, учитывающий форму поля накладного конденсатора и его собственную емкость. Для точного определения k проводились сравнительные измерения с диэлектриками: парафином, фторпластом, гетинаксом. В интервале частот 15—25 МГц показания обоих куметров для одних и тех же эталонов удовлетворительно совпадали.

Исследуемые образцы выпиливались дисковой алмазной пилой из кернов сланцев и известняков разных разведочных скважин сланцевого бассейна Прибалтики, а также из кусков сланцев и известняков ряда шахт республики. Образцы с известной теплотой сгорания были получены из химической лаборатории треста «Эстонсланец».

Для выяснения необходимой толщины образцов проводились оценочные расчеты изменения напряженности поля вдоль оси y , перпендикулярной плоскости пластин конденсатора и выходящей из точки посередине этих пластин, по формуле [1]

$$\frac{E}{E_0} = \frac{a^3}{\sqrt{(a^2 + y^2)^3}}, \quad (2)$$

где a — половина расстояния между центрами пластин датчика; E_0 — напряженность в точке $y = 0$. На расстоянии $y = 4$ см напряженность уменьшается в 16 раз, а на расстоянии $y = 5$ см уже в 29 раз. Измерения подтвердили, что начиная с этой величины (4—5 см), дальнейшее увеличение толщины образцов больше не сказывается на показаниях куметров, поэтому исследования проводились на образцах толщиной не менее 5 см. Половина из 60-ти исследованных образцов, состоящая из кубов с ребром 7 см, была использована для изучения влияния слонстости сланцев и известняков на их электрические свойства.

Образцы исследовались сначала в сухом состоянии. Абсолютно сухими считались образцы, влажность которых при 130°С уменьшалась не более, чем на 0,03% за сутки; влажность таких образцов не превышала 0,08%. Высушенные образцы хранились в эксикаторах с силикагелем. Измерения проводились при температуре 22° и при влажности воздуха в лаборатории 45—50%.

После большого количества измерений было установлено, что в пределах точности куметров при данном методе измерений электрические свойства в направлениях, перпендикулярном и параллельном слоям, были одинаковы и для сухих, и для влажных образцов. Поэтому для определения всех характеристик (ε , тангенса угла потерь $\operatorname{tg} \delta$ и электропроводности σ) измерения проводились на всех плоских гранях образцов и результаты усреднялись.

Высушенные куски сланцев отличаются друг от друга главным образом процентным содержанием условной органической (керогена) и известняковой (неорганической) массы. Извлекаемые из шахт куски «чистого» сланца содержат приблизительно 56% керогена, и их теплота сгорания равна приблизительно 5000 ккал·кг⁻¹; теплота сгорания известняка принята за нуль.

Результаты исследования частотных характеристик ϵ сухих образцов сланцев в зависимости от содержания в них керогена (их калорийности) приведены на рис. 1. С увеличением калорийности породы зна-

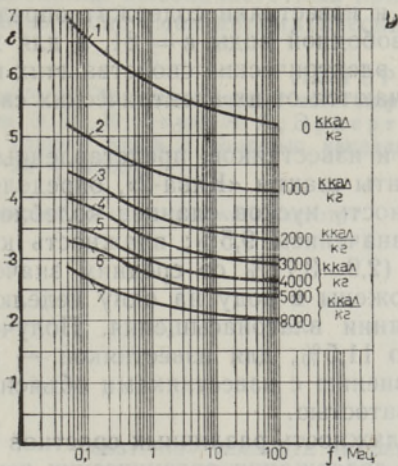


Рис. 1. Частотные характеристики диэлектрической проницаемости в сухих образцах известняков (1), сланцев, имеющих разную калорийность (2—6), и керогена (7) Эстонии.

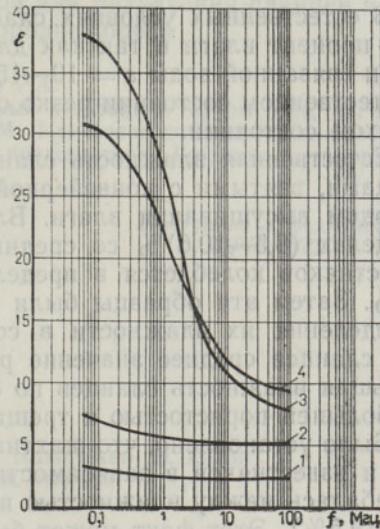


Рис. 2. Частотные характеристики ϵ сухих и насыщенных влагой сланцев и известняков: 1 — сухой сланец; 2 — сухой известняк; 3 — насыщенный влагой сланец (11,5%); 4 — насыщенный влагой известняк (3,8%).

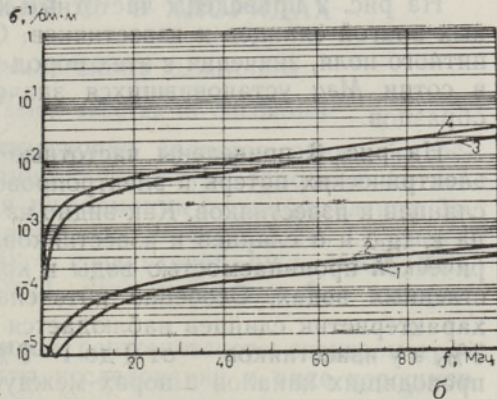
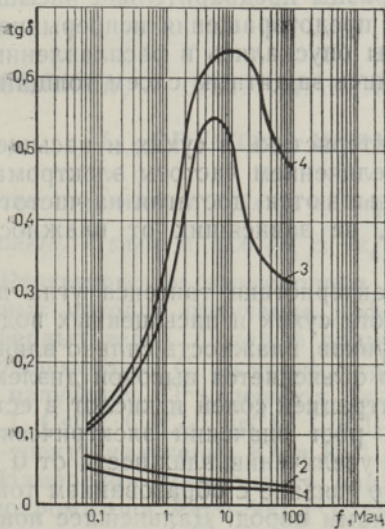


Рис. 3. Частотные характеристики:

а — тангенса угла диэлектрических потерь сухих и влажных сланцев и известняков; 1 — сухой сланец; 2 — сухой известняк; 3 — насыщенный влагой известняк (3,8%); 4 — насыщенный влагой сланец (11,5%);

б — электропроводности тех же сланцев и известняков.

чение ϵ уменьшается, причем у керогена это значение в зависимости от частоты электромагнитного поля изменяется в интервале 2—3, а у известняка — в интервале 5—7. Как следует из рис. 1, в широком диапа-

зоне частот по величине ϵ можно судить о калорийности сланца. Наиболее чувствительные изменения ϵ имеют место в диапазоне 0,2—1 Мгц, но при конструировании автогенераторного прибора для обеспечения высокой добротности контура необходимо использовать одну из разрешенных частот: 5,28 или 13,56 Мгц (см. рис. 3, а).

В естественных условиях сланцы и известняки содержат определенный процент влаги и так как для свободной воды $\epsilon = 81$, а для химически связанной воды $\epsilon = 10—15$, то электрические свойства этих пород в естественном состоянии резко отличаются от их электрических свойств в сухом состоянии.

Естественная влажность сланцев и известняков, представленных образцами, взятыми с конвейерной ленты шахты «Кява-2», определялась методом высушивания влаги. Влажность кусков сланцев колеблется в пределах (8,5—10,6) % со средним значением 9,5%; влажность кусков известняков колеблется в пределах (2,9—3,7) % со средним значением 3,2%. Затем эти образцы были положены в воду на одну неделю для определения их влажности в состоянии влагонасыщения. Полученное для сланцев среднее значение равно 11,5%, для известняков — 3,8%. Большая влажность сланцев по сравнению с известняками объясняется их большей пористостью и трещиноватостью.

Было установлено, что шахтная влажность различных сростков сланцев и известняков в зависимости от содержания органических веществ колебалась между влажностью известняков (3,2%) и влажностью сланцев (9,5%). Этот факт может быть использован для определения калорийности движущейся из шахты сланцево-известняковой массы автогенераторным методом по величине ее диэлектрической проницаемости.

Для исследования электрических свойств влажных пород вырезанные из них кубические и цилиндрические образцы предварительно насыщались водой в течение одной недели. Для предотвращения непрерывного испарения влаги при измерениях образцы опускались в расплавленный парафин, в результате чего они покрывались защитным слоем толщиной 0,08 мм.

На рис. 2 приведены частотные характеристики ϵ сухих и насыщенных влагой сланцев и известняков. С увеличением частоты электромагнитного поля, значения ϵ этих пород уменьшаются, достигая на частотах в сотни Мгц установившихся значений, не зависящих от влажности образцов.

На рис. 3 приведены частотные характеристики тангенса угла диэлектрических потерь и электропроводности сухих и насыщенных водой сланцев и известняков. Как видно из рисунков, влажность сильно влияет на ϵ , $\operatorname{tg} \delta$ и σ сланцев и известняков, что объясняется высокой диэлектрической проницаемостью воды и концентрацией солей и кислот в естественных водах. Особенно интенсивный рост значений электрических характеристик сланцев наблюдается при увеличении влажности от 0 до 3%, а у известняков — от 0 до 1—2%, что связано с образованием токопроводящих каналов в порах между зернами пород. Дальнейшее повышение влажности приводит к менее значительному росту этих характеристик. Для влажных сланцев и известняков характерно: высокое значение диэлектрической проницаемости ϵ на низких частотах и ее уменьшение с увеличением частоты; наличие максимума тангенса угла потерь $\operatorname{tg} \delta$ на частоте релаксации; увеличение электропроводности σ с увеличением частоты.

Таким образом, проведенные исследования показывают, что существующие различия в электрических свойствах сланцев и известняков на

оптимальных частотах достаточно велики, чтобы использовать их для экспрессного определения калорийности сухих образцов сланцев, калорийности движущейся из шахты сланцево-известняковой массы, для влагометрии сланцев и известняков; этим подтверждена также возможность использования высокочастотных приборов для различения сланцев и известняков в системах автоматической породовыборки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Арш Э. И., Высокочастотный автогенераторный контроль в горном деле, М., 1971.
2. Арш Э. И., Красин Л. А., Эрперт А. М., Измерение диэлектрических свойств горных пород с помощью накладного конденсатора, Геология и геофизика, № 4 (1968).

Таллинский политехнический институт

Поступила в редакцию
27/VI 1972EESTI NSV TEADUSTE AKADEEMIA TOIMETISED. 22. KOIDE
FÜSIKA * МАТЕМАТИКА. 1973, NR. 1ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК ЭСТОНСКОЙ ССР. ТОМ 22
ФИЗИКА * МАТЕМАТИКА. 1973, № 1

УДК 535.33

Б. СОРКИН, А. СААР, М. ЭЛАНГО

 $L_{2,3}$ -СПЕКТРЫ ИЗЛУЧЕНИЯ Cl^- В ХЛОРИДАХB. SORKIN, A. SAAR, M. ELANGO. $\text{Cl}^- L_{2,3}$ -KIIRGUSSPEKTRID KLORIIDIDESB. SORKIN, A. SAAR, M. ELANGO. $\text{Cl}^- L_{2,3}$ EMISSION SPECTRA IN CHLORIDES

Рентгеновская эмиссионная спектроскопия является одним из основных методов получения информации о структуре заполненных зон в твердых телах. С целью получения информации о распределении $3s$ - и $2p$ -электронов Cl^- в ионных кристаллах нами исследовались $L_{2,3}$ -спектры излучения Cl^- (переход $3s \rightarrow 2p$) в соединениях LiCl , NaCl , KCl , RbCl , CsCl , CaCl_2 , SrCl_2 , CuCl_2 и PbCl_2 . Для сравнения был измерен $L_{2,3}$ -спектр излучения K^+ в KCl .

Измерения проводились при помощи рентгеновского спектрометра-монохроматора РСМ-500 [1]. Объекты исследования в виде порошков втирались в рифленые медные пластинки и находились в позиции анода рентгеновской трубки, работающей в режиме 2 кв , $5-15 \text{ ма}$ при давлении $5 \cdot 10^{-6} \text{ мм. рт. ст.}$ Дифракционная решетка имела 600 штр./мм и радиус кривизны 2 м . Ширина входной и выходной щелей монохроматора составляла 15 мкм , что обеспечивало спектральное разрешение $0,4 \text{ эв}$ в интересующей нас области спектра и скорость счета в типичных условиях около 100 имп./сек. Излучение регистрировалось при помощи проточного пропорционального счетчика с аргон-метановым наполнением вместе с обычной радиометрической аппаратурой [2]. Для гра-