

## ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПРИБАЛТИЙСКИХ ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ

Б. Х. БРОДСКАЯ,  
кандидат технических наук

Одним из наиболее перспективных методов термической переработки твердых топлив является их бесшахтная подземная газификация [1, 2]. Важным звеном в комплексе процессов бесшахтной газификации топлив является создание газопроницаемого канала между скважинами. С 1948 г. Институт химии АН ЭССР совместно с Энергетическим институтом АН СССР и Министерством МиСХП ЭССР приступил к разработке метода электросбойки, при котором предусматривается применение электрического тока для подготовки пластов сланца к подземной газификации [3, 4].

В связи с этим представляется весьма необходимым детальное изучение электрических свойств сланца и перемежающейся с ним породы, что позволит при определении конкретных способов переработки правильно выбрать параметры электротехнических установок и объяснить сущность физико-химических процессов, протекающих в сланце, который находится в электрическом поле.

Кроме того, изучение электрических свойств позволяет создать электрометрические методы определения влажности сланца, содержания органической массы в нем, степени термической деструкции и т. д.

Подробное изучение электропроводности сланцев проведено А. А. Агроскиным и И. Г. Петренко [5, 6], которые установили зависимость электросопротивления сланцев и известняка от температуры в пределах от 20 до 900° С. В связи с тем, что в указанных работах не учитывалось влияние поляризации и сопротивления приэлектродных слоев, полученные их авторами абсолютные значения удельного сопротивления несколько завышены, особенно в пределах низких температур. Авторы правильно оценили влияние влажности на электросопротивление сланцев и известняка, хотя и не учли влияния химического и минералогического состава исходного материала. В настоящее время электрические свойства углей и сланцев при различных температурах нагрева изучаются в Энергетическом институте АН СССР (Э. А. Мееровичем и С. Г. Бондаренко) и др.

Имеющиеся данные о составе горючих сланцев показывают, что большинство компонентов минеральной части являются аморфными и мелкокристаллическими диэлектриками, обладающими ионной проводимостью. Отдельные компоненты ( $\text{FeS}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ) представляют собой полупроводники, обладающие электронной и ионной проводимостью [7]. Органическое вещество сухого сланца представляет собой аморфный диэлектрик с весьма малой электропроводимостью. Электропроводимость обогащенной

сланцевой пробы с содержанием органической массы 87% составляет  $10^{-15} \div 10^{-14} \frac{1}{\text{ом} \cdot \text{см}}$

Целью настоящего сообщения является изложение результатов исследований по установлению основных электротехнических характеристик сланца и перемежающихся с ним пород, а также зависимости этих характеристик от содержания в сланце основных компонентов органического вещества, минеральной массы и влаги.

### 1. К методике исследования

Методика измерения в каждой серии опытов прорабатывалась самостоятельно и дается в соответствующих разделах. Общей для всех опытов являлась методика подготовки проб. Исследованию подвергались образцы, изготовленные из целиков сланца и пропластков известняка отдельных слоев промышленной пачки, а также дробленый сланец с различным содержанием органического вещества и с различной влажностью. Целикам придавалась форма пластин либо цилиндров с отшлифованной поверхностью. В большинстве измерений в качестве электродов применялась алюминиевая фольга, которая плотно прикладывалась к образцу. В некоторых опытах для сопоставления результатов поверхность образца покрывалась графитом.



Для обеспечения равномерности электрического поля между электродами и отвода токов поверхностной утечки в землю применялось охранное кольцо из того же материала, что и электроды.

Измерение порошкообразных проб производилось на экспериментальной установке, изображенной на рис. 1. Для измерения высоты слоя использовалась оптическая система отсчета, позволившая производить измерения с точностью до 0,01 мм.

Приготовление проб различной влажности производилось путем выдерживания их до постоянного веса в эксикаторе над насыщенными растворами различных веществ ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ,  $\text{NaBr}$ ,  $\text{CaCl}_2$ ) и над водой. Определение влажности и содержания органического вещества проводилось по ГОСТ 6381-53.

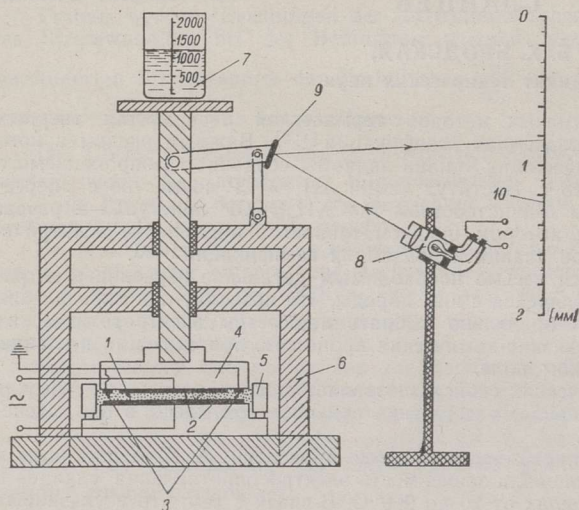


Рис. 1.

Установка для определения электрических свойств порошкообразных проб: 1 — испытуемый материал; 2 — электроды (алюминиевая фольга); 3 — охранное кольцо; 4 — верхняя подвижная пластинка со штоком; 5 — кольцевой ограничитель из плексигласа; 6 — станина; 7 — сосуд с ртутью; 8 — осветитель; 9 — зеркало; 10 — шкала.

## 2. Измерения на постоянном токе. Вторичные явления, связанные с прохождением тока

Измерения на постоянном токе проводились по схеме, представленной на рис. 2. При приложении к образцам напряжения величина тока быстро уменьшается (особенно в начальный момент) и приближается к некоторому постоянному значению — так называемому сквозному току.

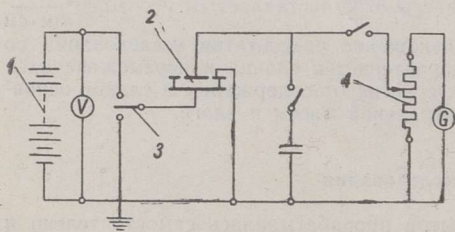


Рис. 2. Схема измерения на постоянном токе: 1 — источник постоянного тока; 2 — испытуемый образец с электродами; 3 — переключатель; 4 — шунт к гальванометру.

Изучению и объяснению эффекта спадания тока при низких температурах в твердых диэлектриках и полупроводниках посвящены работы многих авторов [7, 8]. Главная экспериментальная трудность таких исследований заключается в измерении начального тока, так как в первые моменты опыта ток спадает очень резко. В настоящей работе не ставилась задача измерения тока в течение десятых и сотых долей секунды.

На рис. 3 представлено относительное изменение тока во времени при различной величине приложенного напряжения. С увеличением напряжения снижение тока становится более резким. Это, по-видимому, объясняется тем, что величина э. д. с. поляризации с увеличением напряжения

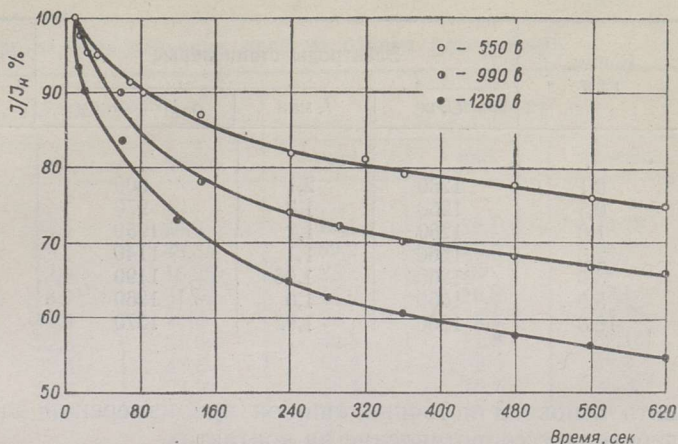


Рис. 3. Относительное изменение тока во времени для целика сланца

возрастает. Для дробленых проб аналогичная зависимость представлена на рис. 4.

Изменение тока во времени для целиков и дробленых проб имеет одинаковый характер, однако абсолютные значения скорости спадания тока различны. Спадание тока определяет степень неоднородности материала. Этот эффект выражен тем слабее, чем однороднее материал.

Спадание тока обусловлено также накоплением объемного заряда, приводящим к перераспределению поля. Изменение тока во времени может быть значительно снижено путем применения неполяризующихся электродов.

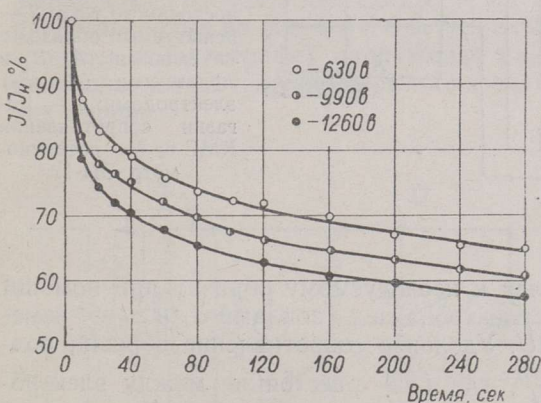


Рис. 4. Относительное изменение тока во времени для порошкообразной пробы (при различной величине приложенного напряжения).

В табл. 1 приведены значения силы тока и удельного сопротивления для различных промежутков времени от начального момента приложения напряжения. Измерения проводились на одном и том же целике с применением электродов двух конструкций: 1) из фольги и 2) медной сетки, покрытой насыщенным раствором медного купороса с желатином или агар-агаром.

Данные табл. 1 показывают, что при применении неполяризующихся электродов ток остается почти постоянным во времени, а удельное

сопротивление образца, оставаясь почти неизменным, по величине значительно меньше, чем при применении обычных электродов. Это, по-видимому, объясняется устранением переходного сопротивления между электродом и образцом и уменьшением накопления объемных зарядов электродов.

Для определения истинной электропроводности сланцев и пропластков применялся метод, предложенный академиком А. Ф. Иоффе [7], по которому измеряется разность потенциалов  $\Delta U$  между зондами на некотором участке целика  $L$ , вдоль которого течет ток  $I$ . Это позволяет уstra-



Таблица 1

Время, мин	Электроды станиоловые			Электроды неполяри- зующиеся	
	$U$ , в	$I$ , мка	$\rho \cdot 10^6$ , ом. см	$I$ , мка	$\rho \cdot 10^6$ , ом. см
0,1	1250	2,1	600	120	10,5
0,5	1260	1,3	970	123	10,2
1,0	1260	1,2	1050	120	10,5
2,0	1260	1,1	1140	120	10,5
3,0	1260	1,06	1190	120	10,5
5,0	1260	1,0	1260	120	10,5
10,0	1260	1,92	1370	118	10,4

нить основной источник ошибок при измерении электропроводности — переходное сопротивление на контактах.

На рис. 5 представлена схема четырехэлектродной установки, на которой производились измерения удельного сопротивления сланцевых целиков и переслаивающихся с ним известняков. Исследование проводилось на пяти керновых пробах из района Кютте-Йюд.

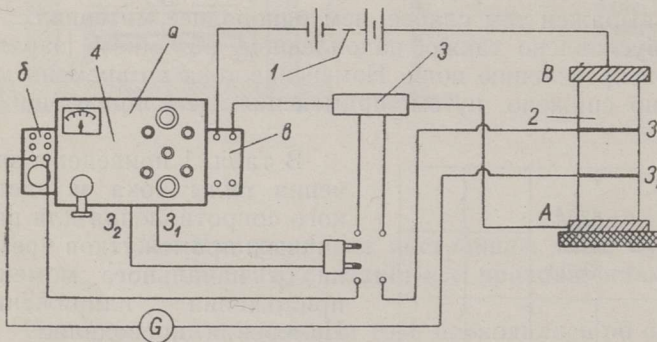


Рис. 5.  
Схема измерения керновых проб (четыреэлектродная установка): 1 — источник постоянного тока; 2 — испытуемый образец с питающими (A, B) и приемными ( $Z_1$ ,  $Z_2$ ) электродами; 3 — магазин сопротивлений КМС-6; 4 — потенциометр ЭП-1.

Ток  $I$  от батареи 1 подводился к исследуемому образцу при помощи электродов  $AB$ ; между другими электродами — зондами  $Z_1$  и  $Z_2$  — измерялась разность потенциалов  $\Delta U$ . Удельное сопротивление образца подсчитывалось по формуле  $\rho = \frac{\Delta U S}{IL}$ , где  $L$  — расстояние между электродами  $Z_1$  и  $Z_2$ , а  $S$  — поперечное сечение образца. Изготовленные из бронзовой проволоки электроды  $Z_1$  и  $Z_2$  плотно окручивали образец. Для измерения разности потенциалов и силы тока применялся полевой потенциометр ЭП-1.

Измерение  $\Delta U$  и  $I$  проводилось компенсационным методом. Параллельно проводилось снятие вольт-амперной характеристики тех же образцов с применением неполяризующихся электродов. В табл. 2 приведены результаты измерений удельной электропроводности керновых проб.

Значения  $\rho$ , измеренного по различным схемам, примерно одинаковы. С увеличением относительного содержания органического вещества сланца  $\rho$  возрастает. Различия в значениях  $\rho$  в каждом слое объясняются колебаниями в химическом составе и физико-химическом состоянии отдельных проб.

Таблица 2

Удельное сопротивление керновых проб из района Кютте-Йюд

Наименование слоя	$\rho_1 \cdot 10^3$ , ом. см			$\rho_2 \cdot 10^3$ , ом. см		
	макс.	мин.	средн.	макс.	мин.	средн.
A	26,2	23,5	24,9	28,1	18,1	22,47
B	66,8	29,5	48,35	59,2	28,4	43,8
B/C	20,5	12,0	16,25	23	15	19
C	46,4	16,0	31,25	47,9	16,3	32,1
C/D	28,5	12,5	20,5	29	14,5	21,75
D	43,9	22,0	32,6	42,5	21,8	32,15
E	65	30,3	47,6	58,6	38	48,3
E/E	31,3	17,0	24,2	36,4	16,2	26,3
F	42	18,0	30	44	18	31

Примечание.  $\rho_1$  — удельное сопротивление, измеренное по схеме, представленной на рис. 5.

$\rho_2$  — удельное сопротивление, измеренное по схеме, представленной на рис. 2.

### 3. Измерения на переменном токе. Отступления от закона Ома

Для измерения электропроводности и снятия вольт-амперной характеристики сланца на переменном токе в широких пределах значений напряжения были собраны две схемы — на низком и высоком напряжениях, представленные на рис. 6 а и 6 б. Эти схемы позволяют измерять (на электронном осциллографе) напряжение на образце от нескольких вольт до киловольт и ток, текущий через образец, от долей микроампер до нескольких ампер.

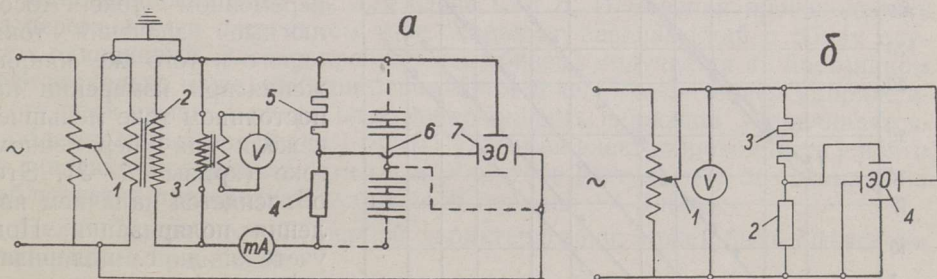


Рис. 6. Схема измерения на переменном токе.

а) На высоком напряжении: 1 — автотрансформатор; 2 — высоковольтный трансформатор; 3 — трансформатор напряжения НОМ-6; 4 — испытуемый образец; 5 — магазин сопротивлений; 6 — емкостный делитель напряжения; 7 — электронный осциллограф ЭО-7.

б) На низком напряжении: 1 — автотрансформатор; 2 — испытуемый образец; 3 — магазин сопротивлений; 4 — электронный осциллограф ЭО-7.

Принцип измерения состоял в следующем. Последовательно с исследуемым образцом соединялось примерно в  $10^3$ – $10^4$  раз меньшее омическое сопротивление. К вертикальным отклоняющим пластинам трубки осциллографа ЭО-7 подавалось падение напряжения с омического сопротивления,



создаваемое протекающим через образец током. Предварительно ось  $YU$  осциллографа была проградуирована на переменный ток 50 герц при различном усилении. В качестве магазина сопротивления был использован прибор КМС-6.

Напряжение с образца и омического сопротивления подавалось на обе пары пластин осциллографа, что позволило фиксировать напряжение образца и текущий через него ток.

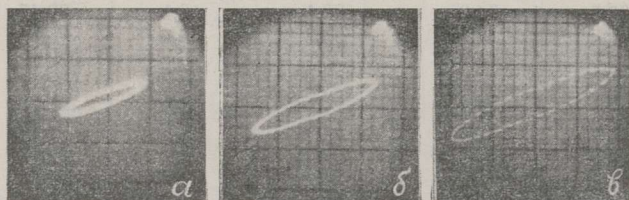


Рис. 7. Осциллограммы вольт-амперной характеристики сланца при различной напряженности поля  $E_{cp}$ : а —  $E_{cp} = 0,5$  кв/см; б —  $E_{cp} = 2,0$  кв/см; в —  $E_{cp} = 5,0$  кв/см.

На рис. 7 представлены осциллограммы  $I = f(U)$  при прохождении переменным напряжением полного цикла. Изменения напряжения для трех значений средней напряженности поля составляли 0,5 кв/см, 2 кв/см и 5 кв/см. Как видно из осциллограмм, зависимости между  $I$  и  $U$  представляют собой замкнутые кривые, похожие на петлю гистерезиса. С увеличением напряженности поля площадь замкнутых кривых увеличивается.

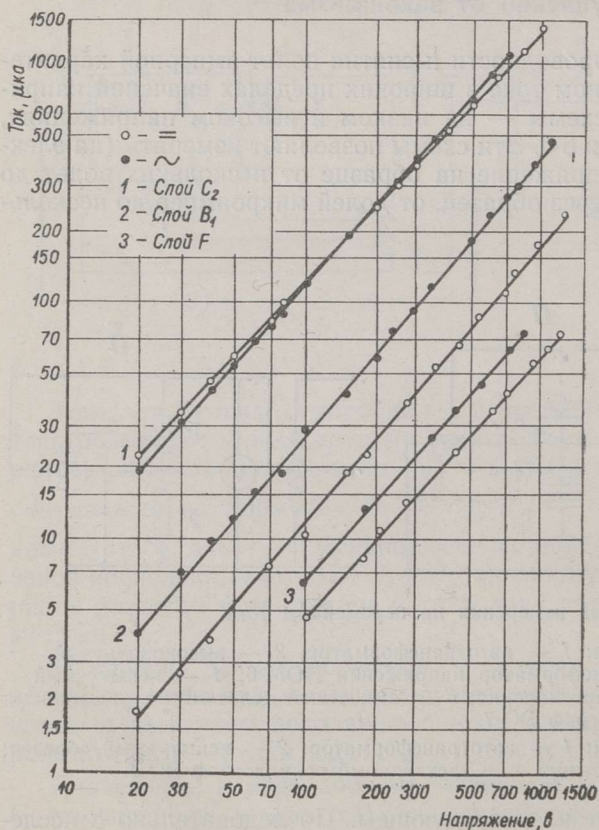


Рис. 8. Вольт-амперные характеристики сланцевых целиков на постоянном и переменном токе.

На рис. 8 представлена в логарифмической сети вольт-амперная характеристика на постоянном и переменном токе трех высушенных целиков из слоев  $C$ ,  $B$  и  $F$ . Как видно,  $\lg I$  и  $\lg U$  зависят друг от друга линейно как при постоянном, так и при переменном токе. Абсолютные значения тока одного и того же напряжения при измерении на постоянном токе меньше, нежели на переменном токе (кривые 2—3). Это объясняется наличием явления поляризации. При учете э. д. с. поляризации эти зависимости при постоянном и переменном токе почти совпадают (кривые 1).

На основании обобщения полученных экспериментальных данных зависимость между  $I$  и  $U$  выражается следующей эмпирической формулой:  $I = nU^m$ , где  $n$  и  $m$  — постоянные.

Величина  $m$  зависит только от физико-химического состояния образца. Постоянную  $n$  можно выразить в следующем общем виде:

$$n = ksp d^b h^{-c},$$

где  $k$  — коэффициент, характеризующий физико-химическое состояние образца;  $s$  — площадь электродов;  $d$  — расстояние между электродами;  $p$  — приложенное давление;  $b$  — средний диаметр частиц (для дробленых проб);  $h$  — высота слоя.

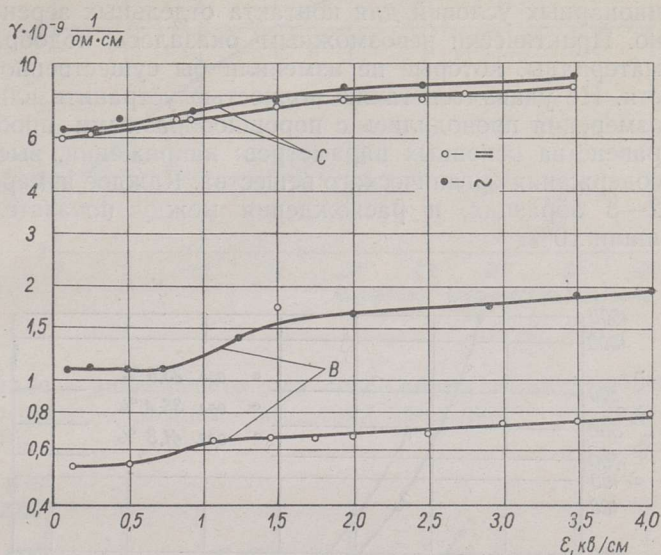


Рис. 9. Зависимость удельной проводимости от напряженности поля.

На рис. 9 представлена зависимость удельной электропроводности  $\gamma$  от напряженности поля  $E_{об}$  для слоев С и В. Измерения производились на переменном и постоянном токе. Характер зависимостей в обоих случаях одинаковый. Электропроводность образца получается на постоянном токе несколько ниже, чем при переменном токе. С увеличением напряженности поля свыше 1 кв/см электропроводность образцов увеличивается. В области малых полей (до 1 кв/см) удельная электропроводность  $\gamma$  почти не зависит от напряженности поля. Заметное отступление от закона Ома наблюдается при средней величине  $E$  порядка 1—2 кв/см.

Нелинейность вольт-амперной характеристики может быть объяснена следующими причинами:

а) У электродов создаются запорные слои, обладающие повышенным сопротивлением по сравнению с общей массой. Сопротивление этих слоев уменьшается с увеличением напряжения.

б) Сопротивление между отдельными макромолекулами органического вещества сланца и частицами минеральной массы, а также между веществом сланца и электродами уменьшается с увеличением приложенного напряжения.

Не все контакты отдельных компонентов в массе сланца являются равноценными. С увеличением напряжения первыми вступают в действие точечные контакты, затем линейные и в последнюю очередь плоские.

в) С увеличением напряжения растет число микроскопических искровых разрядов, благодаря чему падает общее сопротивление образца.



#### 4. Влияние влажности и относительного содержания органического вещества

Весьма важным показателем характера электропроводности сланца является зависимость его удельного сопротивления от влажности и содержания органического вещества. Влияние этих факторов на электропроводность сланцев изучалось в основном на дробленых пробах одинакового гранулометрического состава (фракция проходила через стандартное сито № 100 и задерживалась на сите № 200). Изучение электрических свойств сыпучих тел представляет значительные трудности, так как создание стационарных условий для контакта отдельных зерен весьма затруднительно. Практически невозможным оказалось подобрать такие связующие материалы, которые не изменили бы существенно характер проводимости. Не удалось также полностью устранить влияние связей. Поэтому измерения проводились с порошкообразными пробами при соблюдении равенства основных параметров: напряжения, высоты слоя, давления и содержания органического вещества. Каждое измерение дублировалось на 2—3 образцах, и расхождения между показателями проб не превышали 10%.

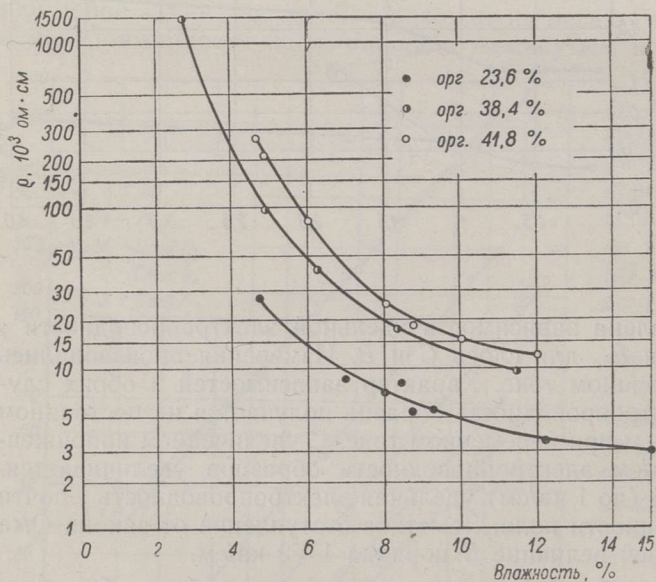


Рис. 10. Зависимость удельного сопротивления от влажности образцов.

На рис. 10 представлена зависимость удельного сопротивления дробленых проб от влажности образца для трех значений относительного содержания органического вещества: 23,6, 38,4 и 41,8%. Изменению влажности в пробах от 3 до 15% соответствует снижение  $\rho$  от  $1,5 \cdot 10^6 \text{ Ом} \cdot \text{см}$  до  $3 \cdot 10^3 \text{ Ом} \cdot \text{см}$ . Характер изменения  $\rho$  при этом почти не зависит от содержания органического вещества, но абсолютные значения удельного сопротивления по мере увеличения содержания органического вещества увеличиваются. Эти зависимости аналитически выражаются уравнением вида  $\rho = a\omega^b + c$ , где  $a$ ,  $b$  и  $c$  — константы.

Для абсолютно сухих образцов зависимость сопротивления сланца от содержания в нем органического вещества имеет более плавный характер. Это объясняется тем, что минеральная масса сланца в сухом состоянии



является хорошим диэлектриком, а при увлажнении увеличивается роль растворимых в воде примесей.

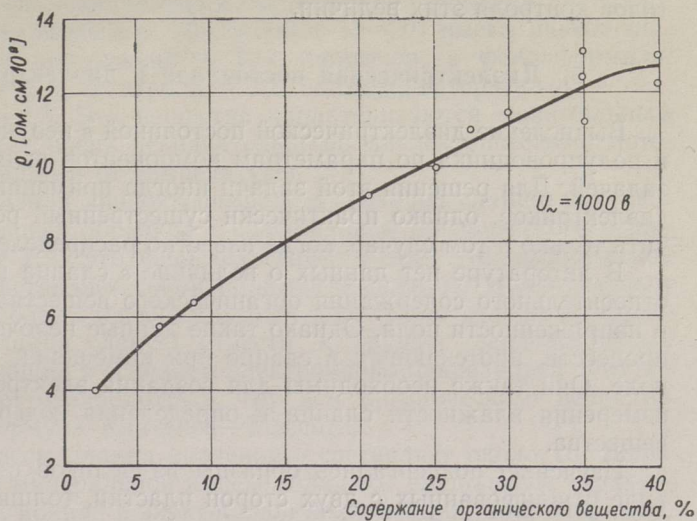


Рис. 11. Зависимость  $\rho$  от содержания органического вещества в абсолютно сухих пробах ( $h = 1$  мм;  $U = 1000$  в).

На рис. 11 представлена зависимость  $\rho$  от содержания органического вещества в абсолютно сухих образцах. Измерения проводились на переменном токе  $U = 1000$  в.

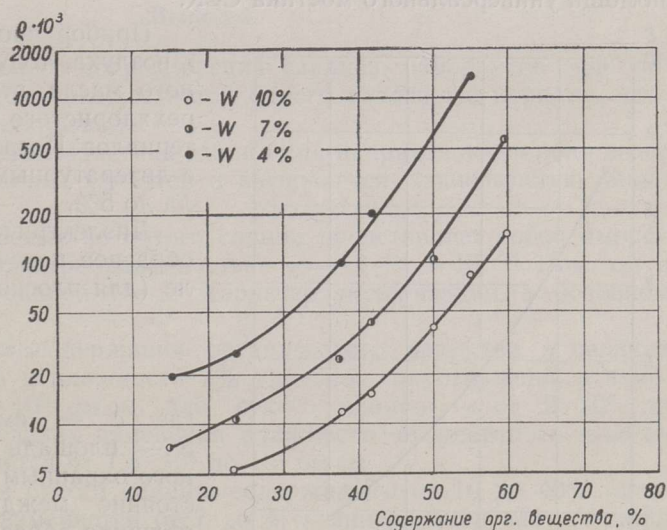


Рис. 12. Зависимость удельного сопротивления от относительного содержания органического вещества.

На рис. 12 приведена зависимость удельного сопротивления от относительного содержания органического вещества при трех значениях влажности: 10, 7 и 4%. Содержание органического вещества в пробах, наряду с влажностью, в значительной степени определяет величину удельной проводимости. С увеличением содержания органического вещества возрастает удельное сопротивление. Поэтому для получения совпадающих результатов необходимо тщательно следить за тождеством химического и минералогического состава образцов.

Установленный в ходе экспериментов характер зависимости между

содержанием органической массы и влаги в сланце и его электрическими параметрами дает основание для разработки электрометрических методов контроля этих величин.

### 5. Диэлектрическая постоянная и диэлектрические потери

Вычисление диэлектрической постоянной  $\epsilon$  неоднородного диэлектрика и полупроводника по параметрам компонентов является весьма сложной задачей. Для решения этой задачи иногда применяются сеточные модели диэлектриков, однако практически существенный результат можно получить только в том случае, когда известно распределение компонентов.

В литературе нет данных о величине  $\epsilon$  сланца и о зависимости ее от относительного содержания органического вещества, влажности, частоты и напряженности поля. Однако такие данные необходимы для понимания процессов, протекающих в сланце при помещении его в электрическое поле. Они также необходимы для создания электрометрических методов измерения влажности сланца и определения содержания органического вещества.

Изучению подвергались образцы из целиков сланца и известняка в виде отшлифованных с двух сторон пластин, толщиной 2—4 мм, и порошкообразные пробы.

Исследования влияния содержания органического вещества на  $\epsilon$  проводились главным образом с порошкообразными пробами. Определение диэлектрической поляризации производилось по измерению емкости конденсатора, заполненного испытуемым порошкообразным образцом при помощи универсального мостика CLR.

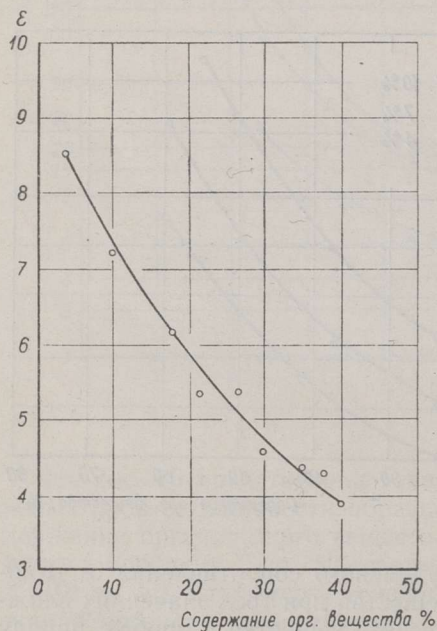


Рис. 13. Зависимость диэлектрической постоянной от относительного содержания органического вещества при 1000 гц.

Прибор проверялся измерением  $\epsilon$  воздуха, толуола, трансформаторного масла, этилового эфира, четыреххлористого углерода и других материалов. Погрешность по сравнению с литературными данными составила до 5%.

Диэлектрическая проницаемость образцов подсчитывалась по формуле (для плоского конденсатора)

$$\epsilon = \frac{4\pi ch}{S},$$

где  $c$  — емкость конденсатора;  $S$  — площадь электрода, окруженного охранным кольцом, и  $h$  — расстояние между электродами, т. е. толщина образца.

Во избежание влияния толщины слоя исследования проводились при одинаковой высоте слоя.

На рис. 13 представлена зависимость диэлектрической постоянной от относительного содержания органического вещества абсолютно сухого сланца при высоте слоя 1 мм.

Значения  $\epsilon$  сухого сланца колеблются в пределах от 2 до 9 в зависимости от содержания органического вещества. С увеличением относительного



содержания органического вещества значение диэлектрической постоянной уменьшается.

Известно, что высокомолекулярные органические вещества (неполярные полимеры с молекулярным весом  $10\,000 \div 15\,000$ ) имеют низкое значение диэлектрической постоянной<sup>[8]</sup>. Так, например,  $\epsilon$  фенолформальдегидной смолы равна 2, полистирола — 2,5, политетрафторэтилена — 2,1, полиэтилена —  $2,2 \div 2,5$ . Эти вещества характеризуются минимальным дипольным моментом и очень незначительными диэлектрическими потерями, почти не зависящими от температуры.

Минимальные значения диэлектрической постоянной сланца, полученные для порошкообразных образцов с содержанием органического вещества 88%, составляет 2,2. Это свидетельствует о том, что органическое вещество сланца представляет собой полимер с большим молекулярным весом, чем у полистирола, и с весьма малым дипольным моментом. Органическое вещество сланца следует отнести к группе твердоаморфных диэлектриков, обладающих в основном электронной поляризацией. Это обстоятельство позволяет предположить, что для органического вещества сланца применима формула Клаузиса—Моссоги.

У минеральной массы сланца значение  $\epsilon$  составляет около 10. Большинство компонентов минеральной массы обладают смешанным характером поляризации, т. е. ионной и электронной поляризаций. Так, например, диэлектрическая проницаемость  $\text{CaCO}_3$  равна 6,14; окислы титана  $\text{TiO}_2$  имеют  $\epsilon$  более 100, в связи с чем присутствие их может значительно увеличивать суммарную  $\epsilon$  сланца. Для большинства компонентов минеральной части сланца  $\epsilon$  больше, чем квадрат преломления света.

### Выводы

1. Значение удельного сопротивления сланцев, измеренное при постоянном и переменном токе, остается одного и того же порядка, если исключить явление поляризации.

Вольт-амперная характеристика сланца при напряженности поля выше 1 кв/см имеет нелинейный характер и выражается зависимостью вида:  $I = nU^m$ .

2. Органическое вещество сухого сланца представляет собой аморфный диэлектрик с электропроводностью  $\gamma = 10^{-14} \div 10^{-15}$  1/ом. см и диэлектрической постоянной  $\epsilon \approx 2$ . Характер поляризации в основном электронный.

3. При изменении содержания органического вещества в целиках сланца от 18 до 55% и влажности 7% удельное сопротивление  $\rho$  изменяется от  $10^4$  до  $5 \cdot 10^5$  ом.см, для сухого сланца — от  $2 \cdot 10^9$  до  $2,8 \cdot 10^{10}$  ом.см. В пределах изменения влажности стандартного сланца от 3 до 12%  $\rho$  изменяется от  $1,5 \cdot 10^6$  до  $10^4$  ом.см.

4. Величина  $\epsilon$  для сухого сланца, содержащего от 10 до 40% органического вещества, изменяется от 7 до 4;  $\epsilon$  минеральной части сланца равна примерно 9, а сланца, содержащего 87% органического вещества — 2,2. С увеличением влажности сланца возрастает и значение  $\epsilon$ .

Автор выражает благодарность академику И. Г. Хейлю и доктору технических наук профессору Э. А. Мееровичу за ряд ценных советов при выполнении данной работы.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Ф. И. Клейменов, Подземная газификация углей, М., 1955.
2. Р. И. Питин и И. Л. Фарберов, Подземная газификация углей, М., Изд. АН СССР, 1955.



3. Б. X. Бродская, Изучение процесса электросбойки сланцевых пластов, Труды сессий ОТН АН ЭССР 1951—1954 гг., «Горючие сланцы. Химия и технология», Вып. I, Москва—Таллин, 1954.
4. И. Г. Хейль, Э. А. Меерович, Б. X. Бродская, Исследование процесса применения электрического тока для подготовки сланцевых пластов к бешахтной газификации, Труды сессии ОТН АН ЭССР 1951—1954 гг., «Горючие сланцы. Химия и технология», Вып. I, Москва—Таллин, 1954.
5. А. А. Агроскин, И. Г. Петренко, Электросопротивление углей и сланцев при нагревании, Известия АН СССР, ОТН, № I, 1950, стр. 89.
6. А. А. Агроскин, И. Г. Петренко, Электросопротивление углей и сланцев при нагревании, «Заводская лаборатория», т. 14, № 7, 1948.
7. А. Ф. Иоффе, Полупроводники в современной физике, 1954, М.—Л., Изд. АН СССР, стр. 277—299.
8. Ф. М. Гольцман и И. Ш. Раскин, О диэлектрических свойствах некоторых полиморфных органических соединений, ДАН СССР, 1953, т. 89, № 5, стр. 817—819.

Институт химии  
Академии наук Эстонской ССР

Поступила в редакцию  
4 VIII 1956

## KUKERSIIDI ELEKTRILISED OMADUSED

B. Brodskaja,

tehniliste teaduste kandidaat

### Resüme

Kuni siiani puudusid kirjanduses andmed põlevkivi füüsikalis-keemiliste omaduste ja mõõtmiste teostamise meetodika mõjust põlevkivi elektriliste omaduste näitajaile.

Artiklis esitatakse uurimiste tulemused, mis saadi põlevkivi ja tema vahekihtide elektrilise juhtivuse, dielektrilise konstandi ja kaonurga tangensi määramisel.

Uurimismaterjalina kasutati tükilist põlevkivi ja selle vahekihte, samuti ka erineva orgaanilise aine ning niiskusesisaldusega peenendatud põlevkivi.

Kuiva põlevkivi orgaaniline osa kujutab endast amorfsed dielektrikut, mille elektrijuhtivus  $\gamma = 10^{-14} \div 10^{-15} \frac{1}{\Omega \cdot \text{cm}}$  ja dielektriline konstant  $\epsilon \approx 2$ . Polarisatsiooni iseloom on põhiliselt elektroonne.

Mitte arvestades polarisatsiooni, jääb põlevkivi eritakistuse suurus alalis- ja vahelduvvoolu puhul samadesse piiridesse.

Kõrvalekaldumise Ohmi seadusest esineb, kui elektrivälja  $E$  ületab 1 kV/cm. Niisugusel juhul ei ole põlevkivi voltampriline karakteristik sirgjoonekujuline ning teda võib väljendada valemiga:

$$I = nUm.$$

Kaevandamisel ja töötlemisel saadud põlevkivitükk sisaldab orgaanilist ainet 18—55%. Niisuguse orgaanilise aine sisalduse ning 7% niiskuse juures muutub põlevkivi eritakistus  $10^4 \div 5 \cdot 10^5 \Omega \cdot \text{cm}$ , kuiva põlevkivi puhul oli see aga  $9 \cdot 10^9 \div 5 \cdot 10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$ . (Mõõtmistel on kasutatud 50-perioodilist vahelduvvoolu pingega 1000 V).

Niiskuse protsendi muutumisel 3—12-ni muutub põlevkivi eritakistus, kui orgaanilist ainet on põlevkivis 38,4%,  $1,5 \cdot 10^6 \div 10^4 \Omega \cdot \text{cm}$ . Orgaanilise aine vähenedes suureneb niiskuse mõju eritakistusele.

Orgaanilise aine protsendi suurenemine kuivas põlevkivis 10—40-ni põhjustab tema dielektrilise konstandi muutmise 7—4-ni. Näiteks põlevkivi mineraalosa  $\epsilon \approx 9$ , sisaldab aga põlevkivi 87% orgaanilist ainet  $\epsilon \approx 2,2$ . Niiskuse suurenemisega suureneb ka  $\epsilon$ .

Kuiva põlevkivi kaonurga tangens on 0,006.

Saadud andmed on vajalikud selleks, et välja töötada elektrivoolu kasutamise teooria nii põlevkivikihtide maa-aluse gaasistamise protsessi, kui ka põlevkivi elektromeetriliste kontrollmeetodite loomise tarbeks.



## ELECTRICAL PROPERTIES OF KUKERSITE SHALE

B. Brodskaya

*Summary*

Up to the present the technical literature has given no data as to the influence of the methodologies of measuring the physical and chemical properties of shale upon the indicators of its electrical properties.

The author presents the results of investigation, received at the determination of the electrical conductivity, dielectrical constant and the tangent of the angle of loss of shale and its intermediate layers.

Experiments have been carried out on lumps of shale and its intermediate layers, as well as on crumbled shale with varying contents of organic matter and moisture.

The organical component of dry oil shale is an amorphous dielectric with the conductivity  $\gamma = 10^{-14} \div 10^{-15} \frac{1}{\Omega \cdot \text{cm}}$ , and electrical constant  $\epsilon \approx 2$ . The character of polarization is mainly electric.

Discounting polarization, the constant of the electrical resistance remains in the same limits in case of constant and alternating current.

A digression from the law of Ohm occurs, when the  $E$  of the electric field exceeds 1 kV/cm. In such cases the volt-ampere characteristic of oil shale is not shaped as a straight line and it may be expressed by the formula:

$$I = nUm.$$

A lump of oil shale obtained in mining and working up contains 18—55% of organic matter. With such contents of organic matter and with 7% of moisture the resistance changes to  $10^4 \div 5 \cdot 10^5 \Omega \cdot \text{cm}$ , in case of dry shale, however, it amounts to  $9 \cdot 10^9 \div 5 \cdot 10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$ . (At the measurements a 50-period alternating current with a tension of 1000 V has been applied).

With the moisture amounting to 3—12% and the contents of organic matter being 38.4%, the resistance becomes  $1.5 \cdot 10^6 \div 10^4 \Omega \cdot \text{cm}$ . With the decrease of organic matter the influence of moisture on the resistivity increases.

The increase up to 10—40% of organic matter in dry shale causes the change of its dielectrical constant from 7 to 4. Thus, for instance, the  $\epsilon$  of the mineral component of shale is 9, but if the shale contains 87% of organic matter,  $\epsilon \approx 2.2$ . In case of an increase of moisture,  $\epsilon$  changes, as well.

The tangent of the angle of loss of shale amounts to 0.006.

The data obtained are necessary for the elaboration of the theory of utilization of electric current in the process of subterranean gasification, as well as for working out of electrometric checking methods for oil shale.

Academy of Sciences of the Estonian SSR,  
Institute of Chemistry

Received  
August 4, 1956