

Каландарашвили Анастасия Олеговна

магистрант

ФГБОУ ВО «Донской государственный
технический университет»

г. Ростов-на-Дону, Ростовская область

ИЗМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КАМЕННОГО УГЛЯ ПРИ НАГРЕВАНИИ ТОКОМ

Аннотация: в статье выделены основные факторы, влияющие на электрические свойства каменного угля. Дано описание процессов, происходящих в угле при нагревании, в том числе током. Основное внимание уделено изменению сопротивления породы.

Ключевые слова: каменный уголь, ионная проводимость, электронная проводимость, удельное сопротивление, электрическое сопротивление, электронагрев.

Известно, что каменный уголь относят к полупроводникам, чьи электрические свойства крайне не устойчивы [1]. Это связано с тем, что отдельные кристаллы одной породы из-за наличия примесей имеют различную электропроводимость, которая, к тому же, резко зависит от различных факторов (например, температура, сложность и непостоянство химического состава, легкая окисляемость и большая гигроскопичность).

При комнатной температуре уголь обладает в основном ионной проводимостью [1]. Повышение температуры вызывает колебания частиц, сидящих в узлах решетки, вокруг положения. С течением времени амплитуды этих колебаний возрастают. Некоторое количество частиц с достаточной энергией отклоняется от равновесных положений на такие расстояния, что возврат в исходное положение для них невозможен. Выскочившая частица перескакивает на место, оставленное другой частицей, и колеблется в этом новом положении до следующего перехода. Частицы примесей, находящихся в решетке, ведут себя так же, но переход

из одного равновесного положения к другому совершается легче, т.к. в узлах частицы примесей обычно имеют большую потенциальную энергию, чем основные частицы.

Одновременно с этим в интервале температур от 100 до 600–700°C постепенно возрастает электронная проводимость углей. Это связано с тем, что при нормальных значениях температуры не наблюдается зависимость между энергией электронов проводимости и температурой, но при достижении значений интервала, указанных выше, накопление электронов в зоне проводимости начинает быстро возрастать и превалировать над другими факторами [1].

При пропускании через каменный уголь электрического тока, следует рассмотреть процессы, происходящие в угле. Возможность направленного движения заряженных частиц (электронов и ионов) под действием внешнего электрического поля обуславливает электропроводность веществ. Сопротивление возникающему электрическому току вызывается хаотическим (тепловым) перемещением заряженных частиц и зависит от строения электронной оболочки атомов, кристаллохимических структур минералов и ионизационных свойств водных растворов солей [2].

Зависимость электропроводности углей от внешнего электрического поля обнаруживается лишь при достаточно сильных полях. Ниже некоторого критического напряжения действует закон Ома, т.е. электропроводность не зависит от поля [1].

При увеличении содержания углерода в углях выше 87% электрическая проводимость их быстро возрастает вследствие того, что в подобных углях начинают протекать процессы графитизации, т.к. электропроводность углей связана с кристаллической графитовой структурой углерода [1].

С повышением частоты нагревающего тока для всех углей наблюдается уменьшение предельной конечной температуры нагрева твердого остатка. По-видимому, при увеличении частоты процессы карбонизации протекают значительно интенсивнее и твердые остатки углей становятся проводниками при более низкой температуре [1].

Одним из основных факторов, влияющих изменение удельного сопротивления углей и сланцев, является температура [1]. Эта зависимость подчиняется экспоненциальному закону [2]:

$$\rho_t = \sum_{i=1}^n \rho_{0i} e^{E_{0i}/2kT}, \quad (1)$$

где ρ_{0i} – электрическое сопротивление; E_0 – энергия активации, эВ; T – температура, К; k – постоянная Больцмана, эВ⁻¹·градус.

Так для температур в пределах от 200 до 800°C зависимость удельного сопротивления различных углей от температуры имеет следующее аналитическое выражение [1]:

$$\rho = \rho_0 e^{-b(t-200)}, \quad (2)$$

где ρ – удельное сопротивление, Ом*см;

t – температура, °C;

b – постоянная величина, зависящая от исследуемого материала.

Продолжительность нагревания оказывает влияние на сопротивление углей, в которых при различных температурах протекают сложные химические процессы, для установления динамического равновесия которых требуется время, исчисляемое десятками минут и больше. Эти процессы способствуют улучшению проводимости и уменьшению сопротивления угля, которое также может быть вызвано увеличением скорости нагрева.

Другой важной характеристикой для удельного сопротивления является степень измельчения угля. Дробленный уголь имеет большое количество контактных сопротивлений и поэтому, казалось бы, должен характеризоваться большим сопротивлением. Однако оказывается, что целлик и дробленный уголь при температурах до 350°C, имеют настолько большое удельное сопротивление, что дополнительные переходные сопротивления не могут оказать существенного влияния на его величину.

Для всех полупроводников характерна очень большая зависимость сопротивления от малейших химических примесей, например избыток кислорода в

0,1% уменьшает сопротивление куприта в 10^4 раз. Особенность полупроводников появляется в большой чувствительности к различного рода облучениям (фотоэффект и др.) [2].

Удельное сопротивление угля с проводящими включениями (например, включения пирита) сравнительно мало зависит от концентрации проводящей компоненты, пока она не очень велика. Присутствие в породе проводящих включений разных размеров уменьшает его удельное сопротивление по сравнению с удельным сопротивлением угля, содержащего аналогичные включения одного размера. Интересно отметить, что для изменения сопротивления породы на несколько порядков достаточно, чтобы объем включений составлял несколько процентов от объема породы [2].

При нагревании электрическое сопротивление каменных углей изменяется в очень больших пределах. Это объясняется тем, что угли содержат большое количество органических радикалов, являющихся диэлектриками. В процессе нагревания угли теряют эти углеводороды; образуется угольный остаток, который по мере нагревания все более и более приближается к чистому углероду [1]. Уголь с большим выходом летучих веществ имеют несколько повышенное сопротивление, а материалы с меньшим выходом летучих веществ имеют относительно меньшее сопротивление [1]. Это соответствует тому положению, что углеводороды являются диэлектриками, а углерод (графит) по проводимости приближается к металлам.

Другим фактором, влияющим на снижение сопротивления углей и антрацитов при нагревании, является степень кристаллизации углерода и величина этих кристаллов. Значение этого фактора зависит от глубины искусственной или естественной углефикации угля, с уменьшением которой возрастает электрическое сопротивление. Поэтому малометаморфизированные угли можно рассматривать как диэлектрики, электрические свойства которых характеризуются их диэлектрической проницаемостью [1].

Диэлектрическая постоянная уменьшается с возрастанием содержания углерода на горючую массу углей до 85%, а далее резко увеличивается. Значения

скоксованных углей медленно увеличивается при нагреве до 600° ; при дальнейшем нагреве резко увеличивается с повышением температуры [1]. Диэлектрические потери скоксованных углей изменяются в зависимости от частоты по синусоидальной кривой. Зависимость между диэлектрическими свойствами и выходом летучих веществ из скоксованных углей определяется степенью метаморфизма исходных углей и условиями нагрева.

Под воздействием диэлектрического нагрева протекает разложение угольного вещества в результате не только теплового воздействия тока, но и дополнительного разрушения структуры вещества. При диэлектрическом нагреве степень карбонизации углей характеризуется не только конечной температурой нагрева, но и частотой греющего тока. С повышением степени метаморфизма углей зависимости удельного электросопротивления от частоты греющего тока уменьшается [1].

Электрическое сопротивление каменного угля при высоких термодинамических параметрах является функцией их химического и минерального состава, структурных и текстурных особенностей. По мере повышения температуры от 20 до 1000°C влияние структурно-текстурных особенностей на ρ угля уменьшается и при температурах более $600\text{--}700^{\circ}\text{C}$ может практически не наблюдаться [2].

Электросопротивление угля обратно пропорционально содержанию водных растворов в единице объема. Влага, содержащаяся в сланцах и углях, понижает их сопротивление в различной степени в зависимости от ее содержания, наличия в ней минеральных примесей и их химического состава [1]. Нагревание влажных проб способствует не только увеличению растворимости солей, но и подвижности ионов и уменьшению вязкости растворов. Последние два фактора также способствуют уменьшению сопротивления, но их влияние обычно значительно меньше влияния термического растворения солей.

Электрическое сопротивление возрастает с увеличением зольности. Так, например, увеличение зольности подмосковного угля с $12,3$ до $61,24\%$ в интер-

вале температур 500–700° вызывает увеличение удельного электросопротивления примерно в тысячу раз. Электросопротивление многозольного угля изменяется с температурой примерно так же, как и удельное сопротивление пород [1].

Таким образом, данный анализ позволяет объяснить кинетику нагрева угля, в том числе при электронагреве, и может быть использован в дальнейших исследованиях.

Список литературы

1. Агроскин А.А. Физические свойства угля / А.А. Агроскин. – М.: Металлургиздат, 1961. – 306 с.
2. Дортман Н.Б. Физические свойства горных пород и полезных ископаемых (петрофизика). Справочник геофизика / Под ред. Н.Б. Дортман. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1984. – 455 с.