



ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ МАЗУТА

Богданов А.В., Богданов В.А.

Херсонская государственная морская академия

В статье экспериментально исследована электропроводность мазута при различных температурах, в частности, термостимулированная проводимость и при различных подаваемых напряжениях, в частности отрицательное дифференциальное сопротивление на вольтамперных характеристиках. Предложен донорно-акцепторный механизм образования полученных экспериментальных результатов.

Ключевые слова: мазут, электропроводность, термостимулированная проводимость, вольтамперные характеристики, магнитно-импульсная обработка

Постановка проблемы и её связь с практическими задачами. В литературе принято органическое топливо считать диэлектриком, а поэтому исследования по его электропроводности представлены недостаточно [1, 2]. Однако, практика использования топлива всё больше опирается именно на его электрические свойства. Так, например, согласно Правил Регистра в судовых системах аварийно-предупредительной сигнализации (АПС) предусмотрен контроль концентрации воды в топливе на выходе сепаратора путём измерения ёмкостного электрического сопротивления топлива на переменном токе. Электрическое сопротивление топлива на переменном токе при увеличении концентрации воды уменьшается за счёт уменьшения его ёмкостного сопротивления.

Изучение и подбор параметров магнитно-импульсной обработки органического топлива для повышения его эксплуатационных параметров невозможен без изучения электропроводности последнего, ибо магнитное поле воздействует только на электрические заряды. Отсюда следует, что исследование электропроводности тяжёлого топлива является актуальным.

Цель настоящей работы – исследование электропроводности одного из самых распространённых органических топлив – мазута марки М 40.

Анализ последних публикаций и постановка задачи исследования. Нормативным показателем качества нефтепродуктов, образуемых при перегонке нефти, является их плотность, которая возрастает от 0,7 г/см³ в бензинах до 1,0 г/см³ в гудронах. С увеличением плотности нефтепродуктов растёт их молекулярная масса с 72 до 300 г/моль, вязкость с 0,6 до 400° УВ (при температуре 200° С), изменяются и другие их электрофизические свойства. Плотность исследуемого нами мазута марки М 40 (цифра в марке мазута указывает на его ориентировочную вязкость) составляет 0,95 г/см³, температура застывания 10-40° С. Мазуты составляют примерно 50 % от объёма перегоняемой нефти.

Для тяжёлых топлив характерно значительное количество включений: воды (до 3 %), серы (до 3,5 %), золы (до 0,3 %) и других включений. Именно включения в составе топлива наиболее значительно определяют его физические свойства и эксплуатационные показатели. Характерной особенностью включений в топливе является образование электрических зарядов на их границах. Поэтому исследование электропроводности мазута позволит не только оперативно определять состав и качество, например воды, при его сепарации, но и определять возможности использования магнитно-импульсной обработки (МИО) для повышения эксплуатационных показателей органического топлива.

Поэтому задачей данного исследования ставилось исследование электропроводности мазута при различных температурах и в зависимости от параметров приложенного электрического и магнитного полей.

Результаты экспериментальных исследований. Для исследования мазута нами была разработана специальная конструкция контейнера [3], позволяющая измерять его



электропроводность при расстоянии между электродами 0,3-10,0 мм, при задании температуры с точностью не менее ± 2 °С в области температур от комнатной до 400 °С (рис. 1).



Рисунок 1 – Внешний вид контейнера

В левой части контейнера располагается печь для нагрева топлива. Непосредственно возле электрода располагается медь-константановая термопара. В правой части контейнера располагается микрометрический винт с остро заточенным электродом.

Экспериментальные исследования электропроводности мазута проводились в следующей последовательности:

- контейнер с фторопласта заполнялся мазутом и герметически закрывался;
- с помощью микрометрического винта устанавливалось определённое геометрическое расстояние между электродами;
- на электроды подавалось от стабилизированного источника тока постоянное напряжение и, при фиксированной температуре, измерялась электропроводность;
- температурная зависимость тока через мазут определялась при подаче на электроды определённого постоянного стабилизированного напряжения.

В результате проведённых экспериментов установлено, что первоначальное электрическое сопротивление мазута при межэлектродном расстоянии равно 0,4 мм (при меньшем межэлектродном расстоянии возникали нестабильности электрического тока) было больше 10^8 Ома. Резкое изменение электрического сопротивления мазута происходило либо после подачи напряжения более 30 В и пропускании достаточно больших токов, либо при воздействии сильных импульсных магнитных полей.

При комнатной температуре на вольтамперных характеристиках мазута марки М 40 наблюдался участок отрицательного дифференциального сопротивления (ОДС), то есть участок, на котором с увеличением напряжения ток уменьшался (рис. 2).

Характерной особенностью участков ОДС на вольтамперных характеристик было то, что они появлялись только при низких температурах (до 50-70°С). С увеличением температуры величина участка падения тока уменьшалась. Именно в этой области температур происходит резкое уменьшение вязкости мазута, что может обуславливать взаимную связь между этими явлениями.

На температурной зависимости электропроводности после обработки мазута электромагнитными полями наблюдались три максимума в области температур: 27 °С; 42 °С; 62 °С (рис. 3), что характерно для термостимулированной проводимости (ТСП) полупроводников [4].

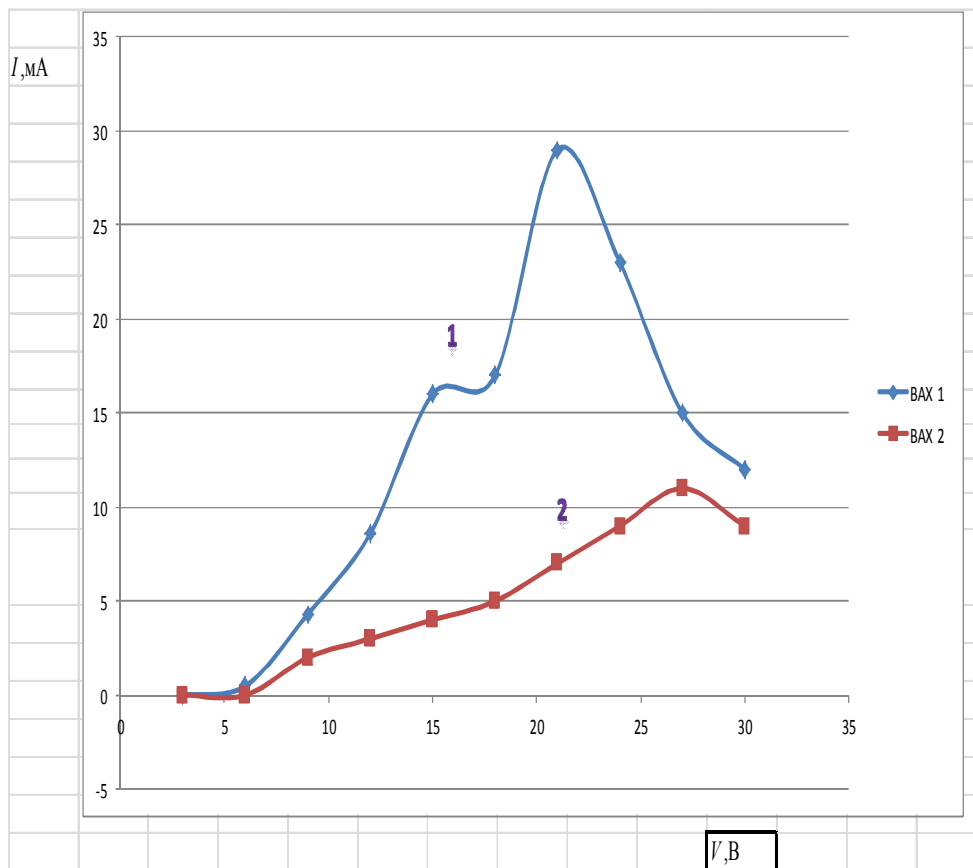


Рисунок 2 – Вольтамперные характеристики мазута при комнатной температуре $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (1) и температуре $T = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ (2)

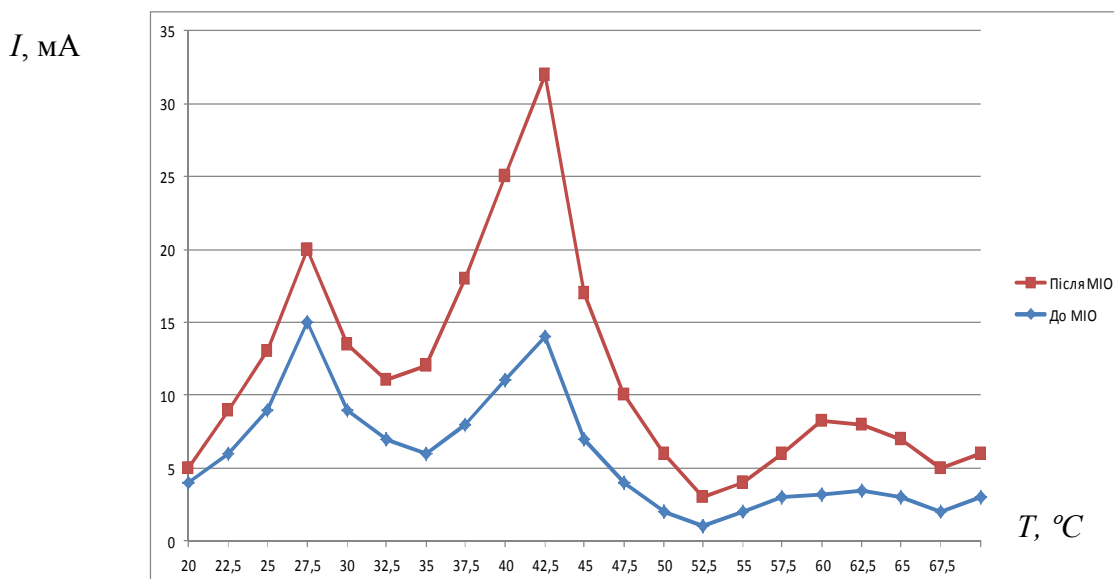


Рисунок 3 – Температурная зависимость тока через мазут марки М 40 до и после его обработки магнитными импульсами

Средний максимум обычно был существенно большим за остальные максимумы. Под воздействием проходящих токов через мазут или при воздействии импульсного магнитного поля величина максимумов (площади под этими максимумами на рисунке) могла изменяться, но температурное положение их оставалось примерно одинаковым. При дальнейшем увеличении температуры электрическое сопротивление мазута резко возрастало.



Механизм электропроводности мазута. Аналогичные вольтамперные характеристики с участками ОДС, а также ТСП нами наблюдались в различных твёрдых материалах: в моно- и поликристаллическом, синтетическом полупроводниковом алмазе, в окисных плёнках, изолирующих выпрямляющий переход у варикапах [4-7].

Величина максимумов (площадь под этими максимумами на рисунке) при ТСП характеризует величину неравновесного электрического заряда, который захватывается на ловушки. Температурное положение максимума электропроводности характеризует энергию активации неравновесных носителей заряда с данных ловушечных уровней.

Для отмеченных особенностей электропроводности синтетического полупроводникового, на основе его зонной схемы и решения уравнений Максвелла, нами был разработан механизм, учитывающий донорно-акцепторную рекомбинацию (ДАР) носителей заряда на ловушечных уровнях бора и азота.

Для тонких окисных плёнок использование зонной структуры, характерной для полупроводников, проблематично. Поэтому нами был предложен тот же механизм ДАР, но учитывающий не статистическое распределение ловушек в трёхмерном пространстве, а их распределение по обе стороны от изолирующей плёнки. Толщина изолирующей плёнки была сравнима с геометрическим расстоянием между примесями в синтетическом полупроводниковом алмазе, а поэтому между зарядами на примесях возникало кулоновское взаимодействие и, соответственно, была эффективной ДАР. В таком случае, как было показано нами, можно не использовать зонную структуру, характерную для полупроводников. Для рассмотрения электропроводности мазута при использовании механизма ДАР необходимо учитывать его особенности, как жидкого вещества. Носителями заряда в жидкости являются ионы, а поэтому электроны легко «прилипают» к нейтральным молекулам и не могут существовать в свободном состоянии. В жидкости заряды могут переноситься скоплением ионов, частицами и даже пузырьками.

Энергия ионизация зарядов с ловушек в жидкости, как следует из закона Кулона, облегчена по сравнению с газами за счёт большей диэлектрической проницаемости. Рекомбинация носителей заряда в жидкости затруднена, поскольку заряды взаимодействуют со средой, а именно, легко окружаются соседними молекулами, ориентированными соответствующими концами постоянных или индуцированных диполей к ионам.

Возникновению электропроводности органического топлива, как диэлектрика, может обеспечивать вода, растворенная в нём, которая облегчает ионизацию других примесей, также растворенных в топливе. Растворение в воде различных примесей с их последующей диссоциацией на ионы приводит к увеличению электропроводности топлива. Отсюда, в топливе, как и в других жидкостях, проводимость больше, чем в газах и твёрдых телах за счёт облегчённой ионизации и затруднённой рекомбинации.

Электропроводность вещества зависит не только от количества электрических зарядов, но и от их подвижности. За счёт значительно большей массы ионов, по сравнению с массой электронов, подвижность электрических зарядов в топливе невысокая ($10^{-7} \div 10^{-8} \text{ м}^2 / (\text{В} \cdot \text{с})$).

Выводы. Из сравнения экспериментальных результатов на мазуте и других твёрдых веществах можно заключить следующее о его электрофизических характеристиках:

1. Мазут относится к неупорядоченным материалам, электропроводность которого и, в частности, долговременная релаксация электропроводности, в значительной степени определяется ДАР между скоплениями различных молекул.

2. Концентрация неравновесного электрического заряда в донорно-акцепторных парах, определяемая по площади под максимумами на кривых ТСП, а также соответствующий коэффициент ДАР, достаточно большие. Энергия активации заряда, определяемая по температурному положению максимумов кривых ТСП, составляет порядка или меньше 0,1 эВ.



3. Примерное совпадение температур при которых, наблюдаются ОДС и максимумы кривых ТСП с температурой, при которой происходит резкое изменение вязкости мазута указывает на взаимосвязь механизмов их образования.

4. Дальнейшее изучение механизма электропроводности мазута должно оказать существенное влияние на выяснение механизма влияния импульсного магнитного поля, как на изменение вязкости мазута, так и на повышения других его эксплуатационных показателей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богданов А. В. Возможности магнитно-импульсной обработки топлива // «Научная дискуссия: вопросы технических наук» [Материалы II международной заочной научно-практической конференции, (12 сентября 2012 г., Москва)] / А. В. Богданов, Б. В. Малыгин – М. : Международный центр науки и образования, 2012. – С. 57-67.

2. Малыгин Б. В. Методы повышения экологической безопасности в процессе магнитной обработки углеводородных топлив для двигателей внутреннего сгорания / Б. В. Малыгин, Д. С. Погорлецкий, Г. Ю. Васильченко, А. А. Сапронов // Науковий вісник ХДМІ. – 2011. – № 2 (5). – С. 130-139.

3. Алексеев А. В. Разработка конструкции контейнера для исследования характеристик топлива в импульсном магнитном поле / А. В. Алексеев, В. А. Богданов, Д. С. Погорлецкий, А. Б. Малыгин // Материалы Всеукраинской научно-практической конференции СЕУТТОО-2012. – Херсон : Видавництво ХГМА, 2012. – С. 222-223.

4. Богданов А. В. Приборы на основе полупроводниковых алмазов : монография / А. В. Богданов, И. М. Викулин. – М. : ЦНИИ «Электроника», 1987. – Вып. 3 (1274). – 56 с.

5. Богданов А. В. Исследование отрицательного дифференциального сопротивления N-типа на обратной ВАХ варикапов / А. В. Богданов, Б. В. Малыгин, М. Ю. Коновалов, А. П. Бень, С. И. Хойна // «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT)-2011» [Збірка матеріалів конференції у двох томах, (м. Херсон)]. – Херсон : Видівництво ХДМІ, 2011. – Т. 2. – С. 94-95.

6. Богданов А. В. Влияние параметров МИО на донорно-акцепторную рекомбинацию носителей заряда в неупорядоченных структурах / А. В. Богданов, Б. В. Малыгин, А. П. Бень, М. Ю. Коновалов // Науковий вісник ХДМІ. – 2011. – № 2 (5). – С. 93-101.

7. Богданов А.В. Электропроводность твёрдых тел по донорно-акцепторным парам / А. В. Богданов, Б. В. Малыгин // Вестник Херсонского технического университета. – 2010. – № 1 (37). – С. 28-32.

Богданов О.В., Богданов В.О. ЕЛЕКТРОПРОВІДНІСТЬ МАЗУТУ

У статті експериментально досліджена електропровідність мазуту при різних температурах, зокрема, термічно стимульована провідність і при подачі різної напруги, зокрема, негативний диференціальний опір на вольт-амперних характеристиках. Запропоновано донорно-акцепторний механізм утворення отриманих експериментальних результатів.

Ключові слова: мазут, електропровідність, термічно стимульована провідність, вольт-амперні характеристики, магнітно-імпульсна обробка.

Bogdanov A.V., Bogdanov V.A. ELECTRIC FUEL OIL

The paper experimentally studied the electrical conductivity of fuel oil at different temperatures, in particular, thermally conductivity and fed at different voltages, in particular the negative differential resistance in the current-voltage characteristics. We propose a donor-acceptor mechanism of the experimental results.

Keywords: fuel oil, electrical conductivity, thermally stimulated conductivity, current-voltage characteristics, magnetic pulse treatment.