

26. Лукьянов Л.А., Киселев Г.И. Компенсационный способ измерения импульсного тока и напряжения // Приборы и техника эксперимента. 1974. № 7. С. 99–100.
27. Окунь И.З. Исследование волн сжатия, возникающих при импульсном разряде в воде // Журн. техн. физики. 1971. Т. 41. № 2. С. 292–300.
28. Коротков В.А., Несветайлов Г.А. О форме импульса сжатия при электрическом взрыве проволок в воде // Физика горения и взрыва. 1970. № 2. С. 250–252.
29. Коваль С.В., Шамко В.В. Энергетические характеристики начальной стадии подводного электрического взрыва проводников // Процессы преобразования энергии при электровзрыве. Киев, 1988. С. 80–86.

Поступила 31.03.04

### Summary

Results of calculations for pressure wave characteristics at the near zone of a discharge channel formed at electrical explosion of copper and aluminium wires have been obtained depending on the wire length and distance. The calculations were carried out numerically using a hydrodynamic set of equations for electric explosion phenomena. Good agreement of hydrodynamic pressure values were obtained for experimental and calculated dependencies describing electric power dissipation law under the wire explosion.

Ю.М. Рычков, С.А. Зайкова

## ВЗАИМОСВЯЗЬ ПРИРОДЫ ПОЛЯРНОЙ ДОБАВКИ И ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАРЯДОВЫХ КЛАСТЕРОВ В ЖИДКИХ ДИЭЛЕКТРИКАХ

Учреждение образования “Гродненский государственный университет им. Янки Купалы”,  
ул. Ожешко, 29, г. Гродно, 230023, Республика Беларусь

**Введение.** Согласно ионно-кластерной модели проводимости жидких диэлектриков [1, 2] зарядовые кластеры представляют собой наноразмерные упорядоченные структуры. Они возникают в неполярных жидкостях углеводородного типа при добавлении в них модифицирующих полярных добавок. Зарядовый кластер состоит из “плотной” центральной части и “рыхлой” периферии. Центральная часть содержит ионы и молекулы полярной добавки, связанные между собой водородной связью. Периферия состоит из поляризованных молекул основной жидкости. Устойчивость зарядового кластера поддерживается за счет того, что энергия кулоновского отталкивания ионов в его центральной части (12 – 15 кДж/моль) оказывается меньше энергии водородных связей, удерживающих ионы и молекулы в ассоциированном состоянии (20 – 30 кДж/моль) [1, 2].

Взаимодействие между молекулами, образующими комплекс с водородной связью, осуществляется за счет обобществления протона. Схематически такой комплекс записывается как  $R_1A-H \dots BR_2$ . В качестве  $A$  обычно выступают электроотрицательные атомы O, N, F,  $B$  – атомы, имеющие неподеленную пару электронов: O, N, F, Cl и др. Встречаются  $H$ -связи, образованные группами СН. Главными факторами, обуславливающими существование  $H$ -связей и различие их свойств, являются перераспределение электронной плотности при образовании комплекса и перенос заряда. С образованием  $H$ -связи стабильность микроупорядоченного состояния вещества возрастает. В результате такой взаимной ориентации молекул происходит их сближение, и реализуется энергетически выгодное расположение наноконфлюэтов – зарядовых кластеров.

Комплексная методика, использующая результаты независимых экспериментов, полученных методом импульсных вольт-амперных характеристик [3, 4] и регистрацией абсолютного значения угла поворота плоскости поляризации линейно поляризованного света [5], позволила установить следующее. При наложении электрического поля ( $E = 0,4 - 0,6$  кВ/см) в системе плоскопараллельных электродов, помещенных в диэлектрическую жидкость с полярной добавкой, в контактном слое

слабопроводящих жидкостей происходит изменение размеров, концентрации и зарядового числа кластеров.

Установлено, что сложная структура приэлектродного слоя для всех исследованных слабопроводящих жидкостей состоит из двух частей. Непосредственно к электроду примыкает “плотный” слой преимущественно ионной проводимости (~20 мкм) [3, 4]. За ним следует “рыхлая” область ионно-кластерной проводимости, содержащая, ионы и наноразмерные структуры с переменными размерами (~300 мкм). В целом в контактном слое наблюдается послойное молекулярное упорядочение в направлении, перпендикулярном электроду [5].

Цель дальнейших исследований – изучение влияния природы модифицирующей примеси на установившиеся характеристики зарядовых кластеров в жидких диэлектриках.

**Экспериментальные исследования.** В качестве слабопроводящих жидких сред с ионно-кластерным механизмом проводимости исследовались углеводородные жидкости, наиболее часто применяемые в качестве рабочих сред для ионно-конвекционных преобразователей (трансформаторное масло, изогептан и другие). В качестве модифицирующих добавок использовалось несколько гомологических рядов полярных веществ.

С помощью апробированной комплексной методики [5] получены данные, подтверждающие влияние полярной добавки на динамику и значения основных характеристик процесса ионно-кластерной проводимости в жидких диэлектриках. На примере гомологических рядов органических спиртов и галогензамещенных углеводородов хорошо заметна характерная зависимость установившихся параметров зарядовых кластеров в приэлектродных областях ~500 мкм от молекулярной массы  $M$  и дипольного момента  $P$ , вносимого в диэлектрическую жидкость полярного вещества.

Экспериментальные данные о влиянии некоторых исследованных полярных веществ на установившиеся характеристики зарядовых кластеров в изогептане (концентрация добавки 6 мас.%,  $E = 0,5$  кВ/см) приведены в таблице. Они включают значения  $R$  – среднего размера центральной части кластера,  $N$  – среднего числа полярных молекул в зарядовом кластере,  $Z$  – зарядового числа кластера,  $z$  – расстояния от поверхности электрода.

Установлено, что увеличение дипольного момента полярной молекулы добавки  $P$  приводит к уменьшению среднего радиуса “плотной” части зарядового кластера  $R$ , который достигает своего наибольшего значения на расстоянии  $z \sim 450$  мкм от поверхности электрода (и для катода, и для анода) и далее не меняется.

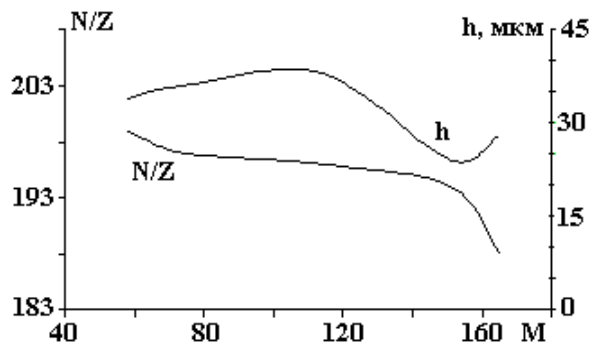
*Зависимость значений установившихся характеристик от природы полярной примеси*

Полярная добавка	$M$	$P, 10 \cdot 30$ Кл/м	$z, \text{мкм}$	$R, \text{Å}$	$N$	$Z$
Бензиловый спирт	114	5,70	50	80	155	5
			100	100	3200	23
			250	115	7400	42
			450	135	8820	45
Бутиловый спирт	74	5,57	50	80	140	4
			100	95	3170	20
			250	110	7150	40
			450	130	8471	43
Бромгептил	165	5,23	50	80	125	3
			100	85	2710	15
			250	90	5760	32
			450	95	6400	34
Бромпентил	151	5,1	50	80	120	3
			100	85	2625	12
			250	87	5580	30
			450	92	6144	32

Можно отметить, что в пределах одного гомологического ряда, вносимого в исследуемую диэлектрическую жидкость полярного вещества, с ростом молекулярной массы добавки  $M$  происходит увеличение средних значений  $R, N, Z$ . Плавное уменьшение отношения числа полярных молекул

к заряду кластера  $N/Z$  с ростом молекулярной массы добавки  $M$  указывает на “разрыхление” плотной части зарядового кластера, возникающее вследствие роста длины молекул (см. рисунок). Например, полярные молекулы бутилового спирта, более короткие по сравнению с молекулами бензилового спирта, “упаковываются” водородной связью в центре кластера плотнее.

Дальнейшее изучение влияния химической природы модифицирующей добавки на процессы ионно-кластерной проводимости слабопроводящих жидкостей выявило нелинейную функциональную зависимость толщины приэлектродного слоя ионной проводимости  $h$  от величины дипольного момента молекул вносимых полярных добавок  $P$  (см. рисунок).



*Влияние природы полярной добавки на изменение значений  $N/Z$  и  $h$*

Для большинства исследованных полярных добавок эта функция может быть аппроксимирована логарифмической зависимостью. Например, для органических спиртов и галогензамещенных углеводов такая зависимость может быть представлена в виде  $h \approx 124,16 \ln(P) - 177,92$ . (Коэффициент корреляции между экспериментальными и аппроксимированными значениями  $h$  для всех указанных жидких сред  $r = 0,99$ ).

**Заключение.** Проведенные экспериментальные исследования служат подтверждением модели упорядоченного распределения разнотипных кластеров в диэлектрических жидкостях при наложении электрического поля [1]. Физико-химические свойства молекул полярных добавок следует считать определяющими при формировании гетерогенности исходных диэлектрических жидкостей. Знание особенностей строения зарядовых кластеров и параметров их распределения в межэлектродном промежутке позволяет создавать новые рабочие жидкие среды с заданными свойствами для использования их в ионно-конвекционных преобразователях различного типа.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Рычков Ю.М. Ион-дипольная модель зарядовых кластеров в жидких слабопроводящих средах // Инженерно-физический журнал. 1997. Т. 70. № 5. С. 761–765.
2. Рычков Ю.М. Контактные явления в жидких слабопроводящих средах // Инженерно-физический журнал. 1997. № 6. С. 1007–1013.
3. Зайкова С.А., Кропачева Л.В., Рычков Ю.М. Электрофизические характеристики приэлектродных слоев жидких диэлектриков на металлических поверхностях // Вести НАН РБ. Сер. физ.-мат. наук. 1999. № 4. С. 5–8.
4. Зайкова С.А., Кропачева Л.В., Рычков Ю.М. Исследование процессов формирования приэлектродных слоев полярного фторсодержащего олигомера на металлических поверхностях // Электронная обработка материалов. 1998. № 1–2. С. 69–73.
5. Рычков Ю.М., Зайкова С.А., Василевич А.Е. Кластерная структура приэлектродного слоя в жидких диэлектриках // Инженерно-физический журнал. 2000. Т. 73. № 4. С. 827–832.

*Поступила 05.03.04*

## Summary

The results of the experimental research of the peculiarities of ion-molecular structure of the contact layer in dielectrical liquids with polar additions are represented. There received some information about determinative influence of the meanings of the value molecular mass and the dipole moment of the polar substance on the process of formation of ordered nanostructures in dielectrical liquids.