

**К ВОПРОСУ О СВЯЗИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ ЖИДКИХ
ДИЭЛЕКТРИКОВ С ИХ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ**

А. А. ВОРОБЬЕВ и А. Ф. КАЛГАНОВ

Экспериментально показано [1,2], что электрическая прочность твердых кристаллических диэлектриков закономерно возрастает с увеличением устойчивости химического соединения. Электрическая прочность монокристаллов щелочно-галогидных солей растет с увеличением теплоты их образования [1]. Последняя для ионных кристаллов является мерой их химической устойчивости. Для кристаллов твердых растворов щелочно-галогидных солей электрическая прочность растет с уменьшением теплоты, поглощенной при их образовании [2]. Известно, что устойчивость твердых растворов, как равновесных систем при различных температурах, зависит от теплового эффекта их образования. Изомерные смеси и твердые растворы, образованные из своих компонентов с положительным тепловым эффектом, остаются постоянными при понижении температуры. Наоборот, твердые растворы, образовавшиеся с заметным поглощением тепла, представляют неустойчивые вещества при низких температурах и стремятся к распадению.

Обнаруженная закономерность соответствует общепринятому энергетическому представлению, согласно которому любое разрушение вещества наступает тогда, когда выделяется необходимая для этого энергия.

В свете этого представления естественно ожидать зависимости электрической прочности от физико-химических свойств и для жидких диэлектриков. Следствием электрического пробоя твердого диэлектрика является его разрушение—образование канала, который перестает быть заполненным веществом в твердом состоянии. В этом случае могут разрушаться все связи твердого вещества как химического соединения.

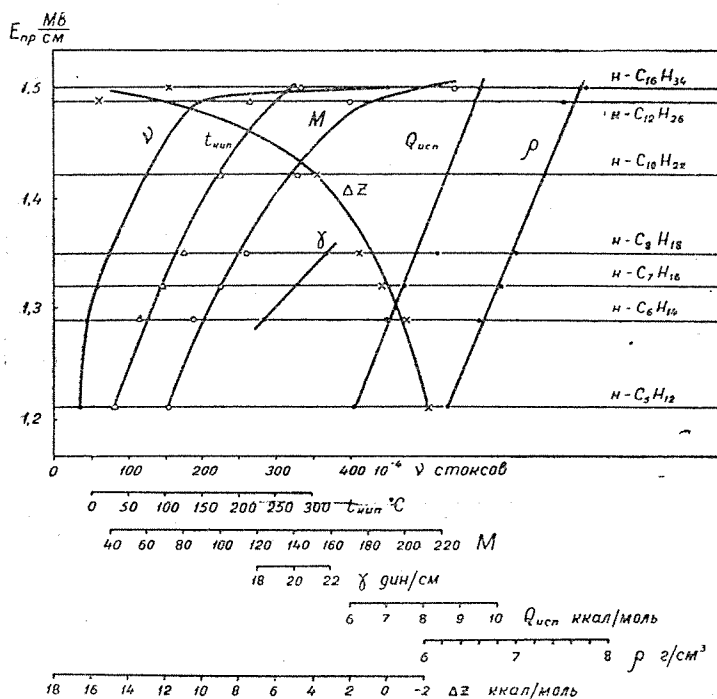
Завершающим этапом электрического пробоя жидких диэлектриков является образование между электродами канала, заполненного парами диэлектрика. Испарение жидкости при пробое связано с разрывом межмолекулярных связей без разрушения молекулы. В этом случае следует ожидать увеличения электрической прочности жидкого диэлектрика с повышением температуры кипения жидкости, теплоты испарения жидкости, поверхностного натяжения, плотности, поляризационных сил и других величин, характеризующих межмолекулярные связи. Следует отметить, что снижение температуры кипения жидкости при уменьшении давления не должно влиять на пробивное напряжение, так как при наличии огромных сил поверхностного натяжения изменение внешнего давления не изменит существенно сил связи между молекулами. Действительно, в работах [3] и [4] показано, что для обезгаженных толуола и ксилола электрическая прочность не зависит от внешнего давления.

Если имеет место другой энергетически менее вероятный процесс—разрушение химических связей, следует ожидать возрастания электрической прочности жидкостей с увеличением термодинамического (изобарного) потенциала, энергии связей атомов в молекуле и других величин, характеризующих устойчивость химического соединения.

Сопоставление электрической прочности жидкостей с их физико-химическими свойствами может дать существенные данные для суждения о природе явления пробоя жидких диэлектриков и научные основания для выбора материалов с высокой электрической прочностью.

Однако сопоставление электрической прочности жидких диэлектриков с их физико-химическими характеристиками до последнего времени не имело смысла, так как измеряемое пробивное напряжение жидкостей определялось не столько их химической природой, сколько различными вторичными явлениями, сопровождавшими пробой. Поэтому величина электрической прочности почти всех жидких диэлектриков технической очистки получилась одинаковой и не превышала нескольких сот кВ/см [5].

В последнее время получены более высокие ($>1 \text{ МВ/см}$) значения измеренной электрической прочности жидкостей, приближающиеся к электрической прочности твердых диэлектриков [6,7], причем значения электрической прочности каждой отдельной жидкости отличались друг от друга и являлись специфическими для отдельной жидкости. Так, Кроу, Брэгг и Шербаух [6] получили для электрической прочности некоторых органических жидкостей—алифатических углеводородов—линейную зависимость от плотности.



Фиг. 1.

Полученные высокие значения электрической прочности жидкостей дают основания считать, что в этих опытах пробой определялся не случайными или вторичными причинами, а связан с природой самой жидкости. Сопоставление электрической прочности только с плотностью жидкости, как это сделали Кроу и другие, не давало еще полного представления о влиянии физико-химических свойств диэлектрика на его прочность, поэтому, используя данные Кроу и других, мы сопоставили электрическую прочность алифатических углеводородов с другими физико-химическими свойствами указанных жидкостей. На фиг. 1 представлены построенные нами зависимости электри-

ческой прочности жидких углеводородов от теплоты испарения $Q_{исп}$, температуры кипения $t_{кип}$, поверхностного натяжения γ , вязкости η , молекулярного веса M и термодинамического потенциала ΔZ . Там же приведена зависимость электрической прочности от плотности ρ , полученная Кроу и другими.

Как видно из фиг. 1, наблюдается возрастание электрической прочности с увеличением указанных выше параметров, кроме изобарного потенциала ΔZ . С увеличением изобарного потенциала электрическая прочность падает. Известно также, что прочности связей атомов углерода C—C и атома углерода с атомом водорода C—H для органических соединений в среднем постоянны [8].

Можно думать, что, вследствие указанного, величины, характеризующие прочность связей молекул данного гомологического ряда органических жидкостей, не определяют электрическую прочность последних.

Наоборот, с ростом величин, характеризующих межмолекулярные связи, электрическая прочность растет. Поэтому надо полагать, что в этом случае электрический пробой связан с преодолением межмолекулярных сил.

В общем случае можно высказать и такое положение, что процесс пробоя начинается с разрушения межмолекулярных связей, более слабых по сравнению с внутримолекулярными, а затем, с увеличением концентрации энергии в канале разряда, может происходить разрушение и внутримолекулярных связей.

Интересно отметить, что зависимость электрической прочности $E_{пр}$ от теплоты испарения $Q_{исп}$ и плотности ρ , в наибольшей степени характеризующих межмолекулярные связи, близка к линейной, тогда как другие кривые имеют неравномерный наклон.

Данные физико-химических характеристик жидких углеводородов взяты из работ [9, 10 и 11].

Выводы

1. Установлено, что электрическая прочность гомологического ряда предельных жидких углеводородов уменьшается с увеличением термодинамического (изобарного) потенциала ΔZ , характеризующего прочность связи химического соединения.

2. Установлено, что электрическая прочность этих же углеводородов увеличивается с ростом величин, характеризующих межмолекулярные связи.

3. На основании выше сказанного можно думать, что электрический пробой исследованных жидкостей связан с преодолением межмолекулярных сил.

В заключение авторы выражают свою благодарность профессору Тронову Б. В. и доценту Наумовой А. С. за обсуждение темы и критические замечания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воробьев А. А. и Завадовская Е. К. ЖФХ, 28, 1910, 1954.
2. Воробьев А. А., Завадовская Е. К. и Трубицын А. М. ДАН СССР 100, 1065, 1955.
3. Вальтер А. Ф. и Челюсткина О. В. ЖТФ, 6, 1900, 1936.
4. Вальтер А. Ф. и Инге Л. Д. ЖТФ, 1, 745, 1931.
5. Волькенштейн Ф. Ф. Пробой жидких диэлектриков. ОНТИ, 1934.
6. R. W. Crowe, J. K. Bragg, A. H. Sharbaugh, J. Appl. Phys., 25, 392, 1954.
7. W. D. Edwards, J. Chem. Phys., 20, 753, 1952.
8. Киреев В. А. Курс физической химии, Госхимиздат, 1951.
9. Физико-химические свойства индивидуальных углеводородов, вып. III, Гостоптехиздат, 1951.
10. Справочник химика, том I. Госхимиздат, 1951.
11. Оболенцев Р. Д. Физические константы углеводородов, жидких топлив и масел. Гостоптехиздат, 1953.