

УДК 53.097

DOI: 10.61413/ZFUM5380

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЕ ФЕНОЛОФОРМАЛЬДЕГИДНОЙ СМОЛЫ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ ПРОЧНОСТЬ ПОЛИЭТИЛЕНА НИЗКОЙ ПЛОТНОСТИ

**Е.М.Годжаев, Ш.А.Зейналов, Ф.Ш.Керимов, С.И.Мамедова, С.Г.Садыгова**

*Азербайджанский технический университет*

*E-mail: geldar-04@aztu.edu.az, sucaets@aztu.edu.az, ferhad.kerimov@aztu.edu.az, memmedova\_sureyya@aztu.edu.az, seyyare.sadiqova@aztu.edu.az*

**Ключевые слова:** *время жизни, электрическое старение, фенолоформальдегидная смола, ПЭНП*

**Резюме.** В данной работе приведены результаты экспериментальных исследований электрической долговечности пленок полиэтилена низкой плотности (ПЭНП) марки 10803-020 и влияния на него состава и количества модифицирующей добавки фенолоформальдегидной смолы (ФС). Содержание добавок в составе ПЭНП варьировалось в пределах 0,01-0,1 масс%.

Экспериментальные результаты показали, что содержание 0,05 масс% фенолоформальдегидной смолы является оптимальной, так как обеспечивает наибольшую устойчивость электрических свойств по сравнению как с исходным, так и с ПЭНП при других содержаниях добавок.

Установлено, что введение в ПЭНП по 0,05 масс% (ФС) значительно снижает скорость уменьшения электрической прочности модифицированной пленки при электрическом старении, а также на временную зависимость электрической прочности пленки ПЭНП.

### Введение

Известно применение изделий из полиолефинов в электротехнической промышленности в качестве диэлектрика [1; с.15-17]. Однако, использование полиолефинов без дополнительных приемов обработки: повышение их электрических характеристик, обеспечения стабильности их при электрическом старении, улучшения технологии переработки, часто не отвечает современным требованиям эксплуатации. Установлено, что в сильных электрических полях ухудшение электрофизических и механических свойств полимерной изоляции происходит в основном за счет ионизационных процессов, развивающихся в воздушных включениях и порах внутри изоляции [2, 3].

В этой связи, целью настоящего исследования явилась разработка новых полимерных модификации с улучшенными диэлектрическими свойствами и относительно стойкими к воздействию ряда внешних факторов (температура, электрических разряды, механическая нагрузка, ультрафиолетовое облучение и т.д.). В качестве модифицирующих добавок использовалось химическое соединение фенолоформальдегидная смола  $[C_6H_3(OH)-CH_2-]_n$ .

### Методика эксперимента

Переработка разработанных модификаций ПЭНП в пленки производилась на агрегате УРП-1500 был установлен технологический режим переработки и получена пленка толщиной 50-60 мкм.

Предложенная добавка методом механического смешивания введена в гранулированный ПЭНП. Перед введением добавки в ПЭНП ее диспергировали при помощи ситового анализа, на установке для определения зернового состава. Размер частиц составил меньше 50 мкм.

Определение электрической долговечности пленок ПЭНП и её разработанная модификация проводилась в переменном поле с частотой 50 Гц по известной методике [4]. Воздействие электрических разрядов на полимерные диэлектрики осуществлялось в испытательной ячейке несимметричного типа рис. 1.

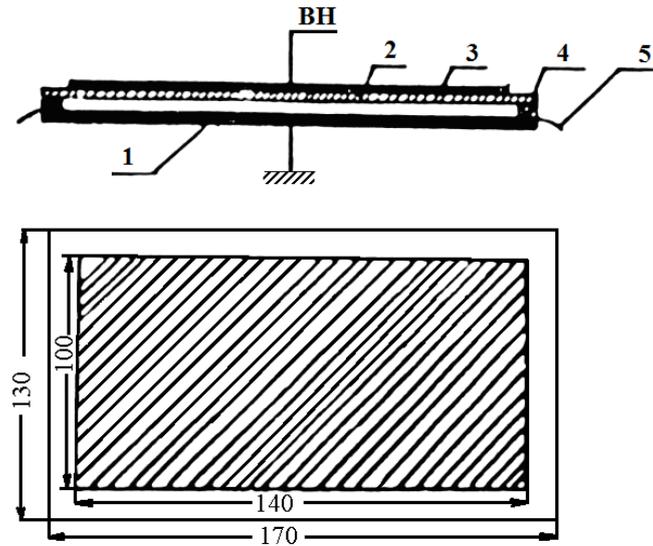


Рис. 1. Испытательные ячейки с воздушным зарядом.

- 1 – металлический заземленный электрод;
- 2 – стеклянная металлизированная пластина;
- 3 – металлическое покрытие;
- 4 – стеклянная прокладка;
- 5 – полимерная пленка.

### Экспериментальные результаты и их обсуждения

На рис. 2 приведена зависимость логарифма долговечности пленки ПЭВД и его модификаций от напряженности переменного электрического поля.

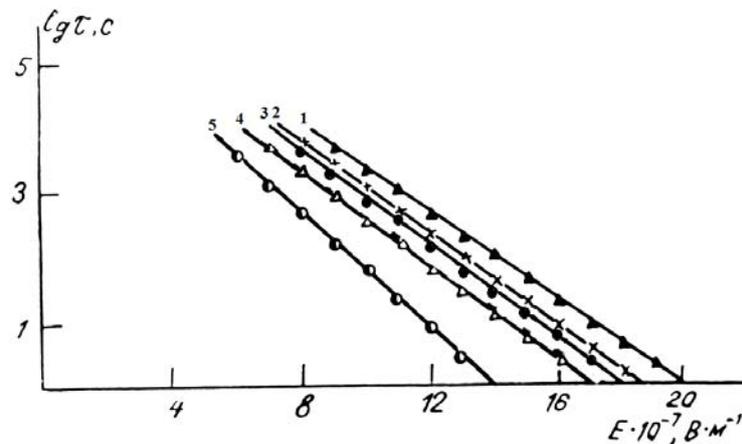


Рис. 2. Зависимость электрической долговечности пленки ПЭВД и его модификации от напряженности электрического поля:

- 1 – ПЭНП+0,05 масс%; 2 – ПЭНП+0,03 масс%; 3 – ПЭНП+0,07 масс%;
- 4 – ПЭНП+0,1 масс% фенолоформальдегидной смолы, 5 – ПЭНП (без добавки)

Введение малого количества (ФС) в состав ПЭНП (1, 2, 3, 4, 5) приводит к значительному изменению ее электрической долговечности (рис. 2). Как следует из экспериментальных данных, в рассматриваемом случае при введении в ПЭНП оптимального количества (0,05 масс%) фенолоформальдегидной смолы (ФС) происходит увеличение его электрической прочности. Однако, как видно из рис. 2, при введении в ПЭНП одного из составов, но в различных количествах, характер изменения электрической прочности с ростом величины напряженности

электрического поля линейно падает логарифм электрической долговечности т.е. выполняется известное соотношение

$$\tau_E = V \exp(-\beta E),$$

где параметры  $V$  и  $\beta$  зависят от природы полимера и температуры испытания.

Как следует из полученных экспериментальных результатов, в рассматриваемом случае введение в ПЭНП оптимального количества добавки (ФС) способствует увеличению его электрической прочности от  $14 \cdot 10^7$  до  $20 \cdot 10^7 \text{ В} \cdot \text{м}^{-1}$ , т.е. порядка 30%.

Хорошая корреляция наблюдается при исследовании зависимости электрической прочности от содержания химической добавки (ФС). На рис. 3 показана зависимость электрической прочности пленки ПЭНП от массовых процентов указанной добавки при прочих одинаковых условиях ( $\tau = \text{const}$ ,  $T = \text{const}$ ). Зависимость  $E_{\text{пр}} = f(c)$  построена по данным, использованным для построения графиков на рис.2.

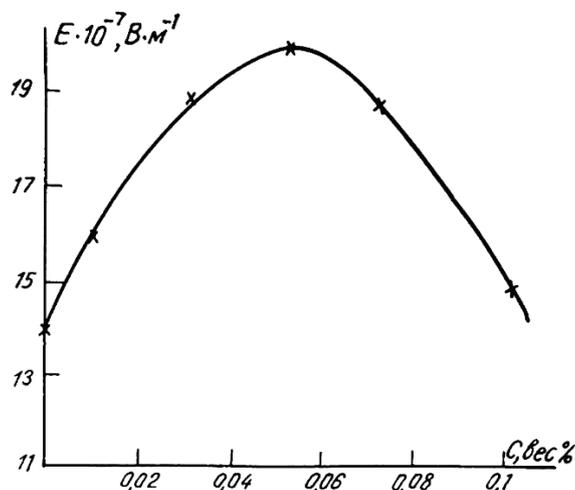


Рис. 3. Изменение электрической прочности пленочных модификаций ПЭНП в зависимости от массовых процентов добавки (ФС)

Из рис. 3 видно, что электрическая прочность увеличивается с увеличением содержания (ФС) и проходит через максимум при 0,05 масс%. При дальнейшем увеличении содержания (ФС) наблюдается его уменьшение. Следует отметить что электрофизические свойства полимеров в существенной степени определяются структурой полимерных материалов. Размер и морфология кристаллических структур, степень кристалличности и дефектность кристаллических полимеров имеют решающие значения в определении его механических и электрофизических характеристик [5, 6, 7]. Исходя из этого можно предположить, что установленный нами эффект увеличения их электрофизических свойств ПЭНП с введением предложенной добавки прежде всего можно связать с соответствующим структурным превращением в надмолекулярном уровне.

Известно, что наблюдаемые изменения физических свойств полимерных пленок после электрического старения происходят как в зависимости от величины электрического напряжения, так и от длительности воздействия. Это подтверждается также при исследовании влияния добавки (ФС) в малом количестве на временную зависимость электрической прочности пленки ПЭНП до и после электрического старения. Воздействие электрических разрядов на полимерные диэлектрики осуществлялось в испытательной ячейке несимметричного типа рис.3.

На рис.4 приведен график зависимости логарифма времени жизни исходного ПЭНП и с добавками (ФС) (ПЭНП +0,05 масс.% ФС) от напряженности электрического поля до и после электрического старения.

Действительно, при сопоставлении экспериментальных результатов, полученных для пленки ПЭНП без (прямая 3,4) и с модифицирующими добавками (прямая 1,2) до и после электрического старения показывает, что скорость снижения времени жизни пленки ПЭНП при электрическом старении введением добавки в оптимальном количестве заметно снижается. Это говорит о модифицирующей и стабилизирующей особенности предположенной добавки (ФС) для ПЭНП. Чтобы, отчетливо показать влияние указанной добавки на основе пленки ПЭНП после действия электрических разрядов в таблице показано изменение электрической прочности ПЭНП и его модификации от времени электрического старения под действием электрических разрядов в течение 5, 10 и 15 часов.

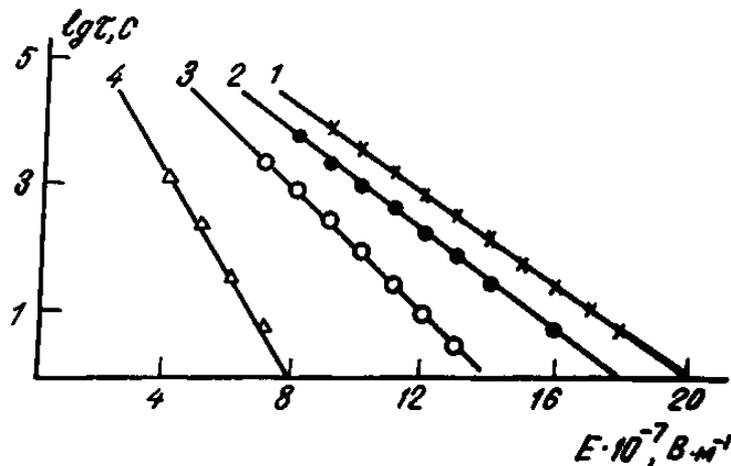


Рис. 4. Зависимости логарифма времени жизни пленки ПЭНП и её модификации с оптимальным содержанием фенолформальдегидной смолы до и после электрического старения под действием разрядов в воздухе при  $U_{ст}=7кВ$ ,  $t_{стар}=10$  час.  
1,2 – ПЭНП+0,05 масс.%ФС до (1) и после (2);  
3,4 – ПЭНП до (3) и после (4) старения.

t, час	$E_{пр}, 10^{-7}В/м$ ПЭНП (без добавки)	$E_{пр}, 10^{-7}В/м$ ПЭНП +0,05масс.%ФС
0	14	20
5	10	18
10	9	16
15	8	15

Из таблицы видно, что органическая добавка (ФС) заметно улучшает электрическую прочность пленки ПЭНП и его стабильность. Таким образом обнаруженное увеличение электрической прочности и стабильности модификации ПЭНП можно связать со структурирующими особенностями указанной добавки, которая обеспечивает плотную упаковку макромолекул при формировании пленки. При этом за счет физического структурообразователя, по видимому, уменьшается гетерогенность строения полимера и увеличивается степень упорядоченности во взаимном расположении макромолекул, вследствие этого значительно замедляется процесс порообразования и ионизационных процессов в них.

## LİTERATURA

1. Багиров М.А., Манин В.П., Абасов С.А. Воздействие электрических разрядов на полимерные диэлектрики. Изд. «ЭЛИМ», Баку, 1987, 207 с.
2. Годжаев Э.М., Зейналов Ш.А., Керимов Ф.Ш., Сулейманова А.С. Температурно-временная зависимость электрической прочности плёнки полиэтилена и его композиции при различных температурах Danish scientific journal №60 2022, с. 61-63.
3. Кособудский И.Д., Юрков Г.Ю., Губин С.П., Записс К.В., Кочубей В.И., Ульзутаев А.Н. Новые композиционные наноматериалы с управляемыми свойствами для радиотехники и электроники. Радиотехника, 2005, 10, с.105-109.
4. Фатыхов М.М., Еникеев Т.И., Акмов И.А. Механические свойства композиционных материалов в зависимости от температурного режима их изготовления. Вестник. Естественные науки, ОГУ, 2006, №2, том 2, с. 87-92.
5. Слуцкер А.И. Влияние механического нагружения на кинетику электрического разрушения полимеров. Журнал технической физики, 2008, 78 (11), с. 57-62.
6. Бысков В.М. Косенков В.М. Изменение механических характеристик полиэтилена по действием электрического разряда. Электронная обработка материалов. 2013, 49(4), с.51-55.
7. Матфеева Л.Ю., Ястребинская А.В. Взаимосвязь надмолекулярной структуры и свойств полимерных композиционных материалов на основе термореактивных связующих. Вестник. Белгородский Технологический Университет 2017, №12, с.50-55.

**FENOLOFORMALDEHİD QƏTRANININ AŞAĞI SIXLIQLI POLİETİLENİN  
ELEKTRİK MÖHKƏMLİYİNƏ TƏSİRİNİN TƏDQIQI**

**E.M.Qocayev, Ş.Ə.Zeynalov, F.Ş.Kərimov, S.İ.Məmədova, S.Q.Sadiqova**

*Azərbaycan Texniki Universiteti*

**Xülasə.** Bu məqalədə 10803-020 markalı aşağı sıxlıqlı polietilen (ASPE) plyonkanın elektrik dayanıqlığının və ona fenoloformaldehid qətranının (FQ) dəyişdirici əlavənin tərkibinin və miqdarının təsiri ilə bağlı eksperimental tədqiqatların nəticələri təqdim olunur. ASPE-nin tərkibindəki əlavələrin tərkibi 0,01-0,1 kütlə% aralığında dəyişir.

Eksperimental nəticələr göstərdi ki, 0,05 kütlə% fenoloformaldehid qətranının tərkibi optimaldır, çünki o, həm orijinal, həm də digər əlavə tərkibli ASPE ilə müqayisədə elektrik xassələrinin ən böyük sabitliyini təmin edir.

Müəyyən edilmişdir ki, ASPE-yə 0,05 kütlə% (FQ) daxil edilməsi elektrik yaşlanması zamanı dəyişdirilmiş plyonkanın elektrik gücünün azalma sürətini, həmçinin ASPE plyonkanın elektrik möhkəmliyinin zamandan asılılığını əhəmiyyətli dərəcədə azaldır.

**Açar sözlər:** yaşama müddəti, elektrik yaşlanması, fenoloformaldehid qətranı, ASPE.

**RESEARCH INFLUENCE OF PHENOLOFORMALDEHYDE RESIN  
ON THE ELECTRICAL STRENGTH OF LOW DENSITY POLYETHYLENE**

**E.M.Godjajev, S.A.Zeynalov, F.S.Kerimov, S.I.Mamedova, S.G.Sadigova**

*Azerbaijan Technical University*

**Abstract.** This paper presents the results of experimental studies of the electrical durability of films of low-density polyethylene (LDPE) grade 10803-020 and the effect on it of the composition and amount of a modifying additive of phenol-formaldehyde resin (FR). The content of additives in the composition of LDPE varied in the range of 0.01-0.1 wt%.

Experimental results have shown that the content of 0.05 wt% phenol-formaldehyde resin is optimal, since it provides the greatest stability of electrical properties compared to both the original and LDPE with other additive contents.

It has been established that the introduction of 0.05 wt% (FR) into LDPE significantly reduces the rate of decrease in the electrical strength of the modified film during electrical aging, as well as the time dependence of the electrical strength of the LDPE film.

**Keywords:** life time, electrical aging, phenol-formaldehyde resin, LDPE.

Daxil olub: 01.03.2023