

УДК 621.3.048

doi:10.20998/2413-4295.2019.05.27

ВИВЧЕННЯ ДЕЯКИХ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ РУЙНУВАННЯ ПОЛІМЕРНИХ ПЛІВКОВИХ ДІЕЛЕКТРИКІВ ПІД ВПЛИВОМ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ В УМОВАХ ОБМЕЖЕННЯ ЧАСТКОВИХ РОЗРЯДІВ

А. П. МАЛЮШЕВСЬКА*, С. О. ТОПОРОВ, О. Я. ДМИТРИШИН

Відділ високовольтних імпульсних конденсаторів, Інститут імпульсних процесів і технологій НАН України, Миколаїв, УКРАЇНА

*e-mail: ninutsa@ukr.net

АНОТАЦІЯ Робота присвячена дослідженню процесу електричного старіння і руйнування полімерних діелектричних плівок. Показано, що пробій твердих полімерних діелектриків під дією електричного поля не є критичною подією, а є процесом, що розвивається у часі та проявляється у накопиченні дефектів в матеріалі. Розділяються умови навантаження електричним полем, в яких протікає старіння полімерів, показано, що старіння під дією електричного поля навіть в умовах обмеження часткових розрядів є неминучим явищем. Для мінімізації впливу часткових розрядів та задля запобігання електричної ерозії полімеру запропоновано просту методику їх обмеження, яка передбачає зменшення області полімерної плівки, що підпадає під дію електричного поля та занурення зразків у діелектричну рідину з метою виключення можливості виникнення поверхневих розрядів. Розглядаються результати експерименту з перевірки гіпотези про оборотність змін, що відбуваються в полімерних плівках під впливом електричного поля в умовах обмеження часткових розрядів. Виявлено, що можливий такий вплив електричного поля протилежної полярності на полімерний діелектрик, що дозволяє частково відновити його погіршені ізоляційні властивості. Висунуто гіпотези щодо механізму явища регенерації за рахунок компенсації процесів накопичення об'ємних зарядів в полімері. Обговорюються можливі шляхи підвищення працездатності електротехнічних пристроїв, що мають в конструкції діелектрика полімерні плівки шляхом додаткової дії на діелектрик електричних полів протилежної полярності. Намічено шляхи подальших теоретичних та практичних досліджень електричного старіння та пробію твердих полімерних діелектриків.

Ключові слова: полімерні плівки; електричне старіння; пробій твердих діелектриків; довговічність.

STUDY OF CERTAIN REGULARITIES OF POLYMERIC DIELECTRIC FILM'S DESTRUCTION UNDER THE INFLUENCE OF ELECTRIC FIELD AT PARTIAL DISCHARGES LIMITATION

A. MALIUSHEVSKA, S. TOPOROV, O. DMITRISHIN

Highvoltage pulse capacitor department, Institute of Pulse Processes and Technologies NAS of Ukraine, Mykolaiv, UKRAINE

ABSTRACT The paper is devoted to the electrical aging, destruction and breakdown of polymer dielectric films. The necessity of partial discharges' limitation is explained because they are the main reason of film aging from electroerosion. It is shown that the necessary condition for the breakdown of a polymer film of micron thickness under the electric field influence is the formation of a cavity with a reduced density in a homogeneous polymer material, thus a pre-breakdown phenomena develops in this cavity. Possible ways of such a cavities' formation under the influence of strong electric field are discussed. A technically simple and reliable method for partial discharges limiting is described. It implies diminution of polymeric volume, subjected to electric field influence, and limitation of surface discharges due to film samples' immersion in dielectric liquid. The aim of study – is the hypothesis of destructive events in film polymer dielectric reversibility's verification. The results of an experiment, testing the hypothesis of the reversibility of changes, occurring in polymer films under the influence of an electric field under the conditions of partial discharges limitation, are considered. It is established that the action of a constant electric field on film samples, at conditions when the influence of partial discharges have been minimized, reduces the longevity of polymer in the case of the subsequent action of the field with the same polarity, but their longevity increases by the electric field's of opposite polarity action. Possible mechanisms of conditions' formation for the polymeric dielectrics breakdown under the action of an electric field (at conditions of partial discharges suppression) are discussed. Certain ways of increasing the efficiency and reliability of electrical devices that have polymer films as a dielectric are proposed. The further researches area is outlined.

Keywords: polymer films; electric aging; breakdown of solid insulator; longevity.

Вступ

Історія вивчення процесів електричного старіння полімерних діелектриків налічує багато десятиліть. Зміни під впливом електричного поля механічних і електричних властивостей полімерів детально вивчалися в умовах, коли не приймалося

спеціальних заходів для обмеження часткових розрядів, тобто розрядів у газових включеннях всередині ізоляції, проміжках між зразком і електродами, а також поверхневих розрядів. Відомо, що в результаті ерозії, що виникає в полімерному матеріалі під впливом часткових розрядів, відбувається поступове руйнування досліджуваних

зразків, що і призводить до пробою. Закономірності електричного старіння полімерних діелектриків при впливі часткових розрядів були узагальнені і систематизовані в ряді монографій вчених зі світовим ім'ям: Г.С. Кучинського, С.Н. Ліжкового, А.Н. Цикіна, Б.І. Сажіна, L.A. Dissado, J.C. Fothergill. Разом з тим завжди існував також інтерес до вивчення електричної міцності твердих органічних діелектричних матеріалів в умовах виключення шкідливого впливу часткових розрядів. З плином часу вдосконалення технологій виготовлення полімерних ізоляційних матеріалів, просочуючих рідин для плівкових діелектричних систем і виробів з цих компонентів дозволили істотно зменшити можливість виникнення часткових розрядів в діелектрику в процесі експлуатації, і це підсилює інтерес до електричного руйнування полімеру, не пов'язаного з впливом електричної ерозії. При цьому полімерні діелектричні плівки товщиною близько десятків мікрометрів, що широко використовуються, наприклад, в силовому конденсаторобудуванні, можна розглядати як найбільш зручні об'єкти досліджень електричного старіння і пробою полімерів, не пов'язаного з частковими розрядами, тим більше, що силові конденсатори є електротехнічними пристроями, напруженість електричного поля в яких сягає значних величин (до 200 – 300 МВ/м).

Аналіз останніх досліджень

Науково - дослідні роботи [1-6] доводять, що обмеження інтенсивності часткових розрядів веде до істотного зростання електричної міцності полімерних діелектричних матеріалів, але руйнування полімерного діелектрика під дією суто електричного поля залишається неминучим. Такі результати досліджень дали підставу припустити, що електричне руйнування полімерів при обмеженні часткових розрядів не є критичною подією, що відбувається при досягненні певної напруженості поля, а є процесом, який розвивається в часі та характеризується часом накопичення дефектів або часом життя полімерного зразка в електричному полі. Літературні дані дозволяють думати, що при практично повному обмеженні часткових розрядів в полімерах під дією електричного поля відбувається поступова зміна структури і властивостей матеріалу, яка закінчується пробоем. При реалізації будь-якого механізму пробою (теплового, електричного або електромеханічного) твердого полімерного діелектрика необхідною умовою розвитку пробійних явищ є наявність або поява під дією зовнішніх впливів порожнини з пониженою густиною [7,8]. На стадії підготовки пробою (наприклад, за електричним механізмом), що визначає довговічність полімерного зразка в електричному полі, відбувається утворення порожнини або розпушеної області полімеру, в якій накопичується об'ємний заряд і стає можливою

ударна іонізація молекул та виникнення електронних лавин. Виникнення пороподібних або розпушених областей зі зниженою щільністю в умовно однорідних полімерах можливе тільки в результаті розриву макромолекул, але єдиної точки зору на можливий механізм утворення розривів під дією електричного поля поки що не вироблено.

Тобто, пробій плівкового полімерного зразка під дією електричного поля є актом, що завершує процеси, які розвиваються в навантаженому об'єкті і готують настання макроскопічної втрати суцільності [9-12].

Мета роботи

Була експериментальна перевірка гіпотези щодо оборотності (незворотності) руйнівних змін в плівковому полімерному діелектрику, що виникли під дією електричного поля за умов заглушення часткових розрядів.

Методика експерименту

Час, за який відбуваються зміни, що призводять до втрати стійкості об'єкта до дії навантаження, прийнято називати довговічністю, у випадку навантаження полімерних плівок електричним полем говорять також про час очікування пробою або час життя зразка.

Міра виявлення оборотності накопичувальних процесів в кінетиці руйнування плівкового полімеру під дією електричного поля вивчалася на прикладі аморфно-кристалічної полярної неорієнтованої поліетилентерефталатної (ПЕТФ) плівки 15 мкм завтовшки, яка знайшла широке використання в електротехнічних пристроях, зокрема високовольтних імпульсних конденсаторах. Товщина сухих зразків плівки визначалася відповідно до ГОСТ 17035-86 "Пластмассы. Методы определения толщины пленок и листов" по вибірці 10 зразків з 100. Експеримент проводився на основі очевидного підходу – порівняння результатів вимірювання довговічності при односпрямованій дії навантаження з результатами вимірювання довговічності при зміні напрямку дії навантаження. При цьому враховували, що висока швидкість руйнування полімерів під дією часткових розрядів, у всякому разі в постійному полі, може мати місце тільки при наявності досить великих пор або значних просвітів. Очевидно, що виключити появу часткових розрядів в обсязі матеріалу або, принаймні, значно зменшити їхню інтенсивність, простіше всього, якщо використовувати як об'єкти випробування саме плівкові полімерні діелектрики товщиною в кілька мікрометрів. Істотно зменшити ймовірність потрапляння пори в міжелектродний проміжок можна також за рахунок зменшення площі електрода, у межах якої зберігається висока напруженість електричного поля, мала. Відповідно,

малим ϵ і обсяг полімеру, у якому можливий пробій, тому що мала також імовірність потрапляння великої пори або дефекту плівки в цей "небезпечний" обсяг. При проведенні електричних випробувань зразків полімерної діелектричної плівки використовувалися електродні системи типу "сфера-сфера". Як сферичні електроди використовувалися латунні кулі діаметром 5 мм, відполіровані до 12 - 14 класу точності. Якщо розташувати таку електродну систему, із установленим у ній зразком плівки, у рідкому діелектрику, наприклад, трансформаторній оливі, можна повністю усунути крайові розряди. Довговічність зразків полімерної плівки визначалася за допомогою високовольтного апарату АИИ-70 ТУ 25-06-1769-76, що забезпечує лінійне підвищення випрямленої напруги, реєстрація значення напруги пробую (Упр) проводилася за допомогою кіловольтметра електростатичного С196 ТУ 25-04-130-79, довговічність (час життя) зразків полімерної плівки до пробую фіксувався за допомогою секундоміра. При вивченні довговічності полімерів (як, власне, і інших електротехнічних матеріалів) спостерігається значний розкид значень довговічності для ідентичних зовні зразків при збереженні однакових умов навантаження, тому при обробці результатів використовувалися методи математичної статистики. Описуваний експеримент проводився на партіях плівкових зразків з 30 штук кожна. Кожний зразок піддавався впливу електричного поля напруженістю 333 МВ/м.

Результати і обговорення

На рис. 1 представлена інтегральна функція розподілу зразків за довговічністю $1-N''/N=f(\lg(\tau))$, де N - повне число зразків серії, N'' - число зразків, які залишилися неушкодженими після витримки під навантаженням протягом часу τ .

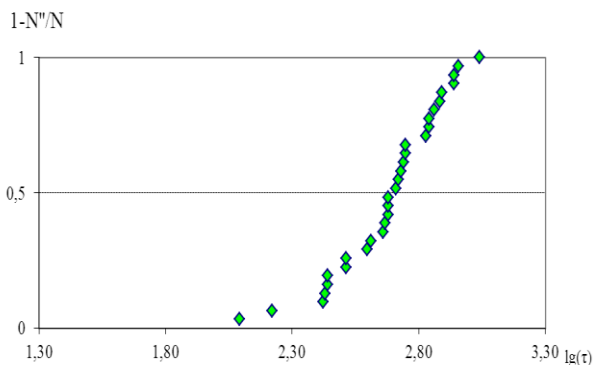
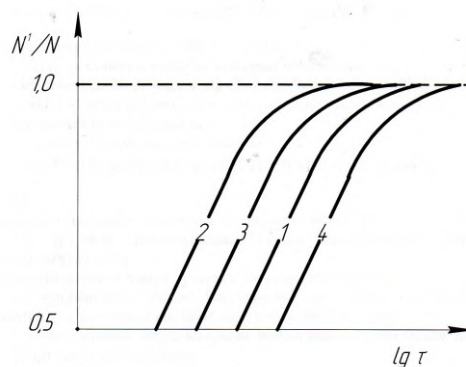


Рис. 1 – Розподіл за довговічністю для зразків плівки ПЕТФ в електричному полі ($E=333$ МВ/м)

Графік функції очікувано наближається до S-подібної форми. Форма розподілу близька до нормального розподілу випадкових величин, ширина

розподілу обумовлена, певно, варіацією структури і дефектності зразків, мікросорсткістю електродів і т. ін. За отриманими даними визначався час τ'' , що відповідає руйнуванню половини зразків, у даному випадку він склав 456 с.

Потім бралися ще дві партії (по 30 шт) таких же зразків і витримувалися при такій же напруженості (333 МВ/м) протягом часу τ'' (456 с), після чого навантаження знімалося. В результаті залишалася не зруйнованою половина зразків партії, з якими проводили подальші операції. Хід аналізу експериментальних даних пояснює схема на рис. 2.



- 1 – розподіл за довговічністю для зразків, які не зруйновані (не пробиті) після впливу електричного поля протягом τ'' ;
2 – крива 1, перебудована в координатах $\lg(\tau - \tau'')$ – розподіл за довговічністю для зразків, що не піддаються регенерації;
3 – розподіл за довговічністю для зразків, що частково регенерували за час переривання навантаження;
4 – розподіл за довговічністю для зразків, в яких в результаті дії, що виконані за час переривання навантаження, відбулися зміцнюючі зміни

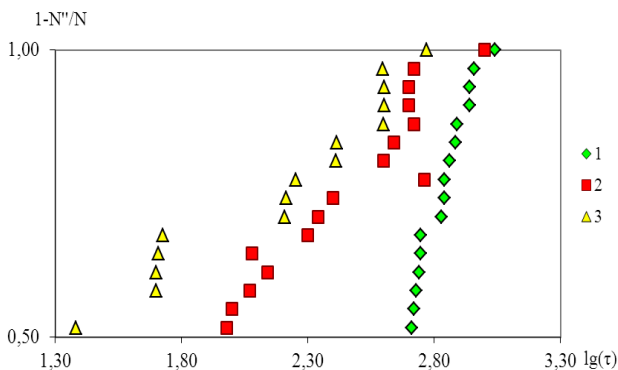
Рис. 2 – Схема розподілу зразків за довговічністю

Криву 1 приймаємо за опорну, таку, що відповідає розподілу зразків з довговічністю більше, ніж τ'' , власне це верхня частина розподілу з рис. 1. Якщо після витримки під впливом електричного поля і зняття напруги накопичені в плівці дефекти зберігаються – після повторного включення навантаження тієї ж величини і знаку розподіл решти зразків повинен пройти лівіше кривої 1. Повний відсутності відновлення за час перерви відповідає перебудована в координатах $\lg(\tau - \tau'')$ крива 1 - крива 2 на рис. 2. Якщо за час перерви дії електричного поля сталася часткова регенерація, то розподіл по вторинній довговічності має пройти між кривими 1 і 2 (крива 3), у разі повного відновлення початкового стану зразків за час перерви криві 1 і 3 співпадуть. І, нарешті, якщо в результаті якої-небудь дії на зразки в перерви відбудуться зміцнюючі зміни, то розподіл по вторинній довговічності повинен пройти правіше опорної кривої – крива 4.

Під час перерви (тривалістю 240 с) одна партія зразків (30 шт.) не піддавалась ніякому впливу, а інша партія (30 шт.) піддавалась впливу електричного поля,

такого ж за модулем (333 МВ/м), але протилежного за напрямом (протиполя).

На рис. 3 наведені результати експерименту з перериванням дії електричного поля на зразок без будь-якого додаткового впливу в перерві. Близькість кривих 2 і 3 свідчить про те, що за час первинного впливу на зразки в них накопичилися зміни (дефекти), які збереглися під час перерви і привели згодом до зниження вторинної довговічності.



- 1 – розподіл за довговічністю для зразків, які зруйновані за час, більший τ'' (опорна крива);
- 2 – експериментальний розподіл зразків за довговічністю після перерви (240 с);
- 3 – розрахунковий розподіл зразків за довговічністю по $\lg(\tau-\tau'')$

Рис. 3 – Розподіл зразків плівки ПЕТФ за довговічністю ($E=333$ МВ/м, $\tau'' = 456$ с), додатковий вплив під час перерви відсутній

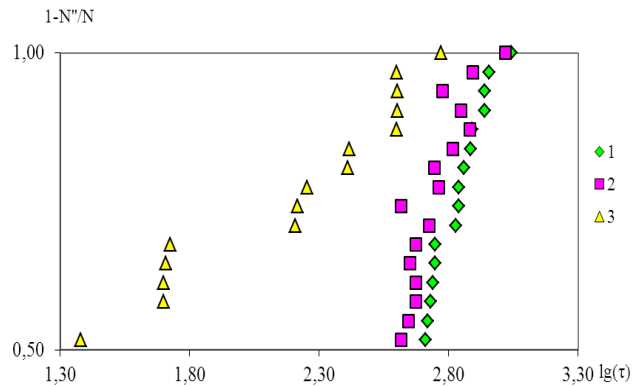
На рис. 4 представлено результати експерименту з перериванням впливу електричного поля на зразки та накладанням на них у перерві електричного поля, протилежного за напрямом (протиполя).

Зсувнення кривої 2 до кривої 1 в даному випадку свідчить про збільшення вторинної довговічності зразків, підданих впливу електричного поля, протилежного за напрямом первісному. Згідно вищевикладеної схеми аналізу експериментальних даних – це відповідає частковій регенерації дефектів, що накопичилися в зразках.

Отриманні в експерименті данні з руйнування плівкових полімерних матеріалів під дією електричного поля за умов обмеження часткових розрядів в частині можливості регенерації змін, накопичення яких призводить до пробою, дозволяють зробити припущення про характер таких змін. Можливо, що всі зміни у такому випадку відбуваються на електронному рівні та не торкаються макромолекулярних явищ (перегрупування молекул, розрив міжмолекулярних зв'язків, тощо).

Найбільш природнім для полімеру, що знаходиться під дією електричного поля, здається формування в полімері об'ємних зарядів. Об'ємний

заряд формується як за рахунок інжектіваних з поверхні електродів електронів, так і за рахунок іонізації макромолекул полімера в сильному електричному полі з переходом електронів від макромолекул в міжмолекулярні пастки. За умов досягнення зарядами граничної величини і виникає пробій.



- 1 – розподіл за довговічністю для зразків, які зруйновані за час, більший τ'' (опорна крива);
- 2 – експериментальний розподіл за довговічністю для зразків, які протягом перерви (240 с) були піддані впливу протиполя $E = 333$ МВ/м;
- 3 – розрахунковий розподіл зразків за довговічністю по $\lg(\tau-\tau'')$

Рис. 4 – Розподіл зразків плівки ПЕТФ за довговічністю ($E = 333$ МВ/м, $\tau'' = 456$ с), у перерві – вплив протиполя тієї ж напруженості

Подальші дослідження доцільно спрямувати в область вивчення можливості регенерації полімерних плівок, що були піддані впливу електричного поля, за рахунок дії інших полів, наприклад, теплового. Крім того, довгострокові дослідження необхідно присвятити проясненню механізму утворення об'ємних зарядів в плівкових діелектриках та методів запобігання такому явищу. Деталізація електронних процесів, що готують пробій полімерів також є важливим завданням подальших досліджень.

Висновки

Таким чином, витримка зразків плівки в постійному електричному полі знижує їх довговічність у разі подальшої дії поля тієї ж полярності, і підвищує довговічність при подальшому впливі на зразки електричного поля протилежної полярності. Питання оборотності змін, які готують порушення суцільності плівки під впливом електричного поля, є цікавим як в науковому, так і в практичному плані.

Спостереження, які обговорено в роботі, дозволяють більш детально судити про елементарні процеси, які готують руйнування, та є непрямими

підтвердженнями гіпотези про формування в полімерному діелектрику об'ємних зарядів. У прикладному аспекті глибоке дослідження явища регенерації дефектів, що накопичуються у полімерних плівках електротехнічного призначення під дією електричного поля за умов відсутності часткових розрядів, може стати основою для методу підвищення працездатності електротехнічних конструкцій.

Список літератури

1. Ушаков, В. Я. Электрическое старение и ресурс монолитной полимерной изоляции / В. Я. Ушаков. – Москва: Энергоатомиздат, 1988. – 152 с.
2. Shibuya, J. Formation and Electrical Breakdown in Epoxy Resin / J. Shibuya, S. Zoledovsri, J. N. Colderwood // *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*. – 1977. – V. 96, № 1. – P. 198 – 207. – doi: 10.1109/t-pas.1977.32320.
3. Zebouchi, N. Thermoelectronic breakdown with pressure and space charge effects in polyethylene / N. Zebouchi, T.G. Hoang, Ai. Bui // *Journal of Applied Physics*. – 1997. – V. 81, № 5. – P. 2363 – 2369. – doi: 10.1063/1.364241.
4. Lewis, T. J. The Role of Electrodes in Conduction and Breakdown Phenomena in Solid Dielectrics / T. J. Lewis // *IEEE Transactions on Electric Insulation*. – 1984. – V. EI-19, № 3. – P. 210 – 216. – doi: 10.1109/TEI.1984.298749.
5. Малюшевська, А. П. Довготривала електрична міцність полімерних плівок під дією електричного поля / А. П. Малюшевська, В. І. Гунько, С. О. Топоров // *Електротехніка та електроенергетика*. – 2017. – № 1. – С. 12 – 17. – doi: 10.15588/1607-6761-2017-1-2.
6. Малюшевська, А. П. Вплив складу і морфології конденсаторних полімерних плівок на термостабільність їх короткочасної електричної міцності / А. П. Малюшевська, С. О. Топоров // *Електротехніка та електроенергетика*. – 2016. – № 1. – С. 18 – 24.
7. Бережанский, В. Б. Предельные характеристики емкостных накопителей энергии с пленочными полимерными диэлектриками / В. Б. Бережанский, В. В. Городов, В. А. Закревский, В. И. Рудь // *Електротехніка*. – 1990. – № 7. – С. 27 – 30.
8. Ушаков, В. Я. Закономерности разрушения полимеров при длительном нагружении электрическим полем / В. Я. Ушаков, А. Л. Робезко, Г. В. Ефремова // *Физика твердого тела*. – 1984. – Т. 26, № 1. – С. 45 – 49.
9. Liufii, D. High-field induced electrical aging in polypropylene films / D. Liufii, X. S. Wang, D. M. Tu, K. C. Kao // *Journal of Applied Physics*. – 1998. – V. 83, №4. – P. 2209 – 2214. – doi: 10.1063/1.366958.
10. Tanaka, T. Space Charge Injected via Interfaces and Tree Initiation in Polymers / T. Tanaka // *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*. – 2001. – V.8, №5, P. 733 – 743. – doi: 10.1109/94.959692.
11. Hajjiannis, A. Space Charge Formation in Epoxy Resin Including Various Nanofillers / A. Hajjiannis, G. Chen, C. Zhang, G. Stevens // *Annual Report Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena*. – 2008. – doi: 10.1109/ceidp.2008.4772898.
12. Vitellas, S. Mechanism of degradation and breakdown in PET films under high intensity AC fields / S. Vitellas, K. Theodosiou, I. Gialas, D. P. Agoris // *The European*

Journal of Applied Physics. – 2005. – V.30, № 2. – doi: 10.1051/epjap:2005013.

References (transliterated)

1. Ushakov, V. Ya. Elektricheskoe starenie i resurs monolitnoy polimernoy izolyatsii [Electrical aging and service life of polymeric insulation]. Moscow, Energoatomizdat Publ, 1988, 152.
2. Shibuya, J., Zoledovsri, S., Colderwood, J. N. Formation end Electrical Breakdown in Epoxy Resin. *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, 1977, 1(96), 198-207, doi: 10.1109/t-pas.1977.32320.
3. Zebouchi, N., Hoang, T.G., Bui, Ai. Thermoelectronic breakdown with pressure and space charge effects in polyethylene. *Journal of Applied Physics*, 1997, 5(81), 2363-2369, doi:10.1063/1.364241.
4. Lewis, T. J. The Role of Electrodes in Conduction and Breakdown Phenomena in Solid Dielectrics. *IEEE Transactions on Electric Insulation*, 1984, 3 (EI-19), 210-216, doi: 10.1109/TEI.1984.298749.
5. Maliushevska, A. P., Gunko, V. I., Toporov, S. O. Dovgotrivala elektrichna mitsnist polimernih plivok pid dieyu elektrichnogo polya [Long-term electrical strength of polymer films under the electrical field influence]. *Elektrotehnika ta elektroenergetika [Electrical engineering & Electroenergetics]*, 2017, 1, 12 – 17, doi:10.15588/1607-6761-2017-1-2.
6. Maliushevska, A. P., Toporov, S. O. Vpliv skladu i morfologiyi kondensatornih polimernih plivok na termostabilnist yih korotkochasnoyi elektrichnoyi mitsnosti [Composition and morphology of capacitor polymer films' influence on the thermostability of their short-term electric strength]. *Elektrotehnika ta elektroenergetika [Electrical engineering & Electroenergetics]*, 2016, 1, 18 – 24.
7. Berezanskiy, V. B., Gorodov, V. V., Zakrevskiy, V. A., Rud, V. I. Predelnyie harakteristiki emkostnyih nakopiteley energii s plenochnyimi polimernymi dielektrikami [Ultimate characteristics of capacitive energy storages with film polymeric dielectrics]. *Elektrotehnika [Electrical engineering]*, 1990, 7, 27 – 30.
8. Ushakov, V. Ya., Robezhko, A. L., Efremova, G. V. Zakonomernosti razrusheniya polimerov pri dlitelnom nagruzhennii elektricheskim polem [Regularities of polymer destruction at long-term electric loading]. *Fizika tverdogo tela [Physics of solid state]*, 1984, 1(26), 45 – 49.
9. Liufii, D., Wang, X. S., Tu, D. M., Kao, K. C. High-field electrical aging in polypropylene films. *Journal of Applied Physics*, 1998, 4(83), 2209-2214, doi: 10.1063/1.366958.
10. Tanaka, T. Space Charge Injected via Interfaces and Tree Initiation in Polymers. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 2001, 5(8), 733 – 743, doi: 10.1109/94.959692.
11. Hajjiannis, A., Chen, G., Zhang, C., Stevens, G. Space Charge Formation in Epoxy Resin Including Various Nanofillers. *Annual Report Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena*, 2008, doi: 10.1109/ceidp.2008.4772898.
12. Vitellas, S., Theodosiou K., Gialas I., Agoris, D. P. Mechanism of degradation and breakdown in PET films under high intensity AC fields. *The European Journal of Applied Physics*. 2005, 2(30), doi: 10.1051/epjap:2005013.

Відомості про авторів (About authors)

Малюшевська Антоніна Павлівна – кандидат технічних наук, доцент, старший науковий співробітник, відділ високовольтних імпульсних конденсаторів, Інститут імпульсних процесів і технологій НАН України, м. Миколаїв, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0703-6105>; e-mail: ninutsa@ukr.net.

Antonina Maliushevska – Ph. D., Docent, senior staff scientist, Department of High-voltage Pulse Capacitors, Institute of Pulse Processes and Technologies of NAS of Ukraine, Mykolaiv, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0703-6105>; e-mail: ninutsa@ukr.net.

Топоров Сергій Олегович – провідний інженер, відділ високовольтних імпульсних конденсаторів, Інститут імпульсних процесів і технологій НАН України, м. Миколаїв, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5188-7380>; e-mail: dphc@iipt.com.ua.

Serhij Toporov – leading engineer, Department of High-voltage Pulse Capacitors, Institute of Pulse Processes and Technologies of NAS of Ukraine, Mykolaiv, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5188-7380>; e-mail: dphc@iipt.com.ua.

Дмитришин Олексій Ярославович – молодший науковий співробітник, відділ високовольтних імпульсних конденсаторів, Інститут імпульсних процесів і технологій НАН України, м. Миколаїв, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2420-9223>; e-mail: dphc@iipt.com.ua.

Oleksiy Dmytrishyn – junior staff scientist, Department of High-voltage Pulse Capacitors, Institute of Pulse Processes and Technologies of NAS of Ukraine, Mykolaiv, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2420-9223>; e-mail: dphc@iipt.com.ua.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Малюшевська, А. П. Вивчення деяких закономірностей руйнування полімерних плівкових діелектриків під впливом електричного поля в умовах обмеження часткових розрядів / **А. П. Малюшевська, С. О. Топоров, О. Я. Дмитришин** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2019. – № 5 (1321). – С. 210-215. – doi:10.20998/2413-4295.2019.05.27.

Please cite this article as:

Maliushevska, A., Toporov, S., Dmytrishyn O. Study of certain regularities of polymeric dielectric film's destruction under the influence of electric field at partial discharges limitation. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2019, 5 (1321), 210-215, doi:10.20998/2413-4295.2019.05.27.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Малюшевская, А. П. Изучение некоторых закономерностей разрушения полимерных пленочных диэлектриков под воздействием электрического поля в условиях ограничения частичных разрядов / **А. П. Малюшевская, С. О. Топоров, А. Я. Дмитришин** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серія: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2019. – № 5 (1321). – С. 210-215. – doi:10.20998/2413-4295.2019.05.27.

АННОТАЦИЯ Работа посвящена исследованию процесса старения и разрушения полимерных диэлектрических пленок под воздействием электрического поля. Обсуждаются условия пробоя твердых полимеров в части формирования области пониженной плотности в материале. Показана необходимость разделения процесса старения пленок под воздействием частичных разрядов, влекущих за собой электрическую эрозию, и процесса старения и последующего пробоя твердых полимеров в результате влияния собственно электрического поля на полимер. Предложена методика эксперимента, позволяющая ограничить частичные разряды, возникающие в полимерных пленочных диэлектрических пленках. Методика подразумевает одновременное ограничение области полимера, подверженной воздействию сильного электрического поля и снижение вероятности развития поверхностных разрядов за счет погружения пленочных образцов в диэлектрическую жидкость. Рассматриваются результаты эксперимента по проверке гипотезы об обратимости изменений, происходящих в полимерных пленках под воздействием электрического поля в условиях ограничения частичных разрядов. При воздействии на полимерный диэлектрик противоположно наблюдается повышение долговечности пленочных образцов. Выдвинута гипотеза о природе изменений в полимере, происходящих под воздействием электрического поля в отсутствие частичных разрядов. Обсуждаются возможные пути повышения работоспособности электротехнических устройств, имеющих в качестве диэлектрика полимерные пленки. С учетом полученных результатов намечены пути развития теоретических и практических исследований в области электрического старения полимерных пленок.

Ключевые слова: полимерные пленки; электрическое старение; пробой твердых диэлектриков; долговечность.

Надійшла (received) 20.02.2019