

**В.И. ГУНЬКО**, зав. сектором, ИИПТ НАН Украины, Николаев;  
**А.Я. ДМИТРИШИН**, мл. науч. сотр., ИИПТ НАН Украины, Николаев;  
**А.П. МАЛЮШЕВСКАЯ**, канд. техн. наук, ст. науч. сотр., ИИПТ НАН  
Украины, Николаев;  
**С.О. ТОПОРОВ**, вед. инженер, ИИПТ НАН Украины, Николаев

## **ВЛИЯНИЕ СТАБИЛИЗАЦИИ И ОЧИСТКИ ЖИДКОГО ДИЭЛЕКТРИКА НА ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ ПРОЧНОСТЬ РАЗЛИЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПЛЕНОЧНОГО ДИЭЛЕКТРИКА ДЛЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ИМПУЛЬСНЫХ КОНДЕНСАТОРОВ**

Рассмотрен вопрос об отказе от очистки и стабилизации жидкого диэлектрика для пропитки высоковольтных импульсных конденсаторов и влиянии этого фактора на электрическую прочность рабочего диэлектрика и ресурс конденсатора. Исследования по определению кратковременной электрической прочности и ресурса секций на основе комбинированных пленочных диэлектрических структур различной толщины показали, что кратковременная электрическая прочность систем с неочищенным пропитывающим диэлектриком практически не изменяется, а средний ожидаемый ресурс уменьшается от 2 до 4 раз.

**Ключевые слова:** высоковольтный импульсный конденсатор, жидкий пропитывающий диэлектрик, электрическая прочность, ожидаемый ресурс.

**Введение.** В результате ряда проведенных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в ИИПТ НАН Украины создана большая номенклатура высоковольтных импульсных конденсаторов на основе пленочного диэлектрика, пропитанного маловязкой диэлектрической жидкостью. О преимуществах пленочного диэлектрика по сравнению с применяемыми ранее в конструкциях высоковольтных импульсных конденсаторов с бумажным и комбинированным бумажно-пленочным диэлектриками было сказано ранее в [1-4], однако в данной работе рассматриваются отдельные вопросы, связанные технологией изготовления высоковольтных импульсных конденсаторов с пленочным диэлектриком.

Известно, что долговечность высоковольтных импульсных конденсаторов в основном определяется технологией их изготовления, при этом технология изготовления конденсаторов с пленочным диэлектриком кардинально отличается от технологии изготовления конденсаторов с бумажным и комбинированным бумажно-пленочным диэлектриками [3-5]. Однако и здесь возможны некоторые отступления от правил. Так, в [6, 7] получены удовлетворяющие авторов результаты при пропитке пленочного диэлектрика конденсаторов без его предварительной сушки, что стало возможным по причине отсутствия бумажного диэлектрика, являющегося основным концентратором

© В.И. Гунько, А.Я. Дмитришин, А.П. Малюшевская, С.О. Топоров, 2014

влаги. Такая технология изготовления конденсаторов является вынужденной в условиях необходимости быстрого их изготовления в больших количествах, когда долговечность конденсаторов определяется длительной электрической прочностью пленочного диэлектрика [6].

В ИИПТ НАН Украины при создании различных типов высоковольтных импульсных конденсаторов разработаны оригинальные технологии пропитки пленочного диэлектрика маловязкими диэлектрическими жидкостями. Товарные жидкие диэлектрики (т.е. электроизоляционные жидкости в состоянии поставки) содержат микрочастицы в количествах до  $10^6$  част./см<sup>3</sup>, 94 % которых обычно представляют собой волокна целлюлозы и углеродные частицы, а остальные – металлы (железо, алюминий и т.д.) и песчинки, возможны также и различные химические включения [8]. Эти частицы попадают в жидкий диэлектрик при его изготовлении, транспортировании или хранении, причем механические примеси достигают размера 10 мкм, что уже сравнимо с толщинами полимерных пленок, входящих в конструкцию конденсаторного диэлектрика, и этот факт потребовал создания технологии очистки и стабилизации применяемых жидких диэлектриков адсорбентами [9-11]. Процесс очистки и стабилизации занимает определенное время и ведет к увеличению общей продолжительности изготовления высоковольтных импульсных конденсаторов.

**Цель данной работы** – оценка возможности отказа от очистки и стабилизации товарного диэлектрика адсорбентом и прогнозирование при этом ожидаемого среднего ресурса высоковольтных импульсных конденсаторов с различными конструкциями пленочного диэлектрика.

**Основная часть.** Для достижения поставленной цели проводились экспериментальные исследования на макетах секций с тремя конструкциями трехслойного полипропиленово-полиэтилентерефталатного диэлектрика толщиной  $d$ , равной 30, 34 и 39 мкм, пропитанного трансформаторным маслом Т-1500. Данные пленочные диэлектрические системы выбраны как наиболее широко применяемые в конструкциях создаваемых ИИПТ высоковольтных импульсных конденсаторов [12]. Для изготовления макетов секций брались материалы одной и той же партии поставки, изготавливались две партии секций одинакового количества, с одинаковыми геометрическими размерами и с одним и тем же количеством рабочих витков. При этом одна партия макетов секций пропитывалась товарным трансформаторным маслом, а другая партия – трансформаторным маслом, прошедшим очистку и стабилизацию адсорбентом. Причем все макеты секций проходили полный цикл термовакуумной сушки и пропитки, разработанной специально для высоковольтных импульсных конденсаторов с пленочным диэлектриком [13].

Трансформаторное масло Т-1500 очищалось способом перколяции, а в качестве адсорбента бралась окись алюминия. Перед очисткой окись алюми-

ния активировалась прокаливанием при температуре от 450 до 500 °С и остывала в закрытом объеме до температуры окружающей среды, а трансформаторное масло нагревалось до температуры от 40 до 45 °С.

Для оценки возможности применения для пропитки высоковольтных импульсных конденсаторов товарного трансформаторного масла определялись величины кратковременной и длительной электрической прочности пленочных диэлектрических систем. Кратковременная электрическая прочность  $E_{пр,кр}$  определялась путем доведения макетов секций до электрического пробоя, определение длительной электрической прочности (ресурса  $N_{ср}$ ) проводилось в режиме колебательного разряда с рабочим напряжением 6 кВ, амплитудой разрядного тока через секцию 0,5 кА, декрементом колебания разрядного напряжения 10 и частотой следования зарядов-разрядов 0,2 Гц.

Результаты испытаний макетов секций приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Результаты испытаний макетов секций на электрическую прочность

$d$ , мкм	$E_p$ , кВ/мм	Товарная жидкость				Стабилизированная жидкость			
		$E_{пр,кр}$ , кВ/мм	Коэфф. вариации, %	$N_{ср}$ , зарядов- разрядов	Коэфф. вариации, %	$E_{пр,кр}$ , кВ/мм	Коэфф. вариации, %	$N_{ср}$ , зарядов- разрядов	Коэфф. вариации, %
30	200,0	420,0	4,7	$1,46 \cdot 10^5$	7,1	433,3	4,6	$3,38 \cdot 10^5$	6,3
34	183,8	423,5	2,3	$1,61 \cdot 10^5$	5,5	418,2	2,5	$5,30 \cdot 10^5$	5,1
39	153,8	379,5	2,7	$2,75 \cdot 10^5$	7,3	388,3	2,3	$1,20 \cdot 10^6$	6,2

Анализируя результаты испытаний макетов секций, видно, что средняя кратковременная электрическая прочность диэлектрических систем с использованием очищенного и стабилизированного трансформаторного масла Т-1500 отличается от средней кратковременной электрической прочности тех же диэлектрических систем с товарным трансформаторным маслом Т-1500 в пределах статистической погрешности. При этом необходимо отметить, что и различие в коэффициентах вариации величин средней кратковременной электрической прочности диэлектрических систем с товарным трансформаторным маслом несущественно по сравнению с теми же диэлектрическими системами, но уже на основе очищенной и стабилизированной жидкости.

Различие по величинам средней длительной электрической прочности этих диэлектрических систем уже более заметно и составляет от 2 до 4 раз. Однако при этом и коэффициенты вариации величин средней длительной электрической прочности диэлектрических систем с товарным трансформаторным маслом несколько больше, чем у тех же диэлектрических систем, но уже на основе очищенной и стабилизированной жидкости.

Указанное снижение ресурса должно быть обязательно учтено при прогнозировании ожидаемого среднего ресурса высоковольтного импульсного конденсатора в случае применения товарного жидкого диэлектрика и может быть оправдано значительным уменьшением времени изготовления конден-

саторов и трудоемкости процесса производства.

Вместе с тем согласно [14] на величину ожидаемого среднего ресурса конденсатора помимо технологии его изготовления оказывает значительное влияние и режим эксплуатации конденсатора. Для более точной оценки ресурса конденсатора, пропитанного товарным жидким диэлектриком, необходимы дополнительные исследования по определению эмпирических коэффициентов в известных формулах, характеризующих зависимость ресурса от режима эксплуатации.

**Выводы.** 1. Величина кратковременной электрической прочности пропитанных диэлектрических систем не может служить критерием необходимости очистки и стабилизации товарных жидких пропитывающих диэлектриков.

2. В случае применения для пропитки конденсаторного диэлектрика товарного трансформаторного масла Т-1500 величина ожидаемого среднего ресурса высоковольтного импульсного конденсатора должна быть уменьшена от 2 до 4 раз в зависимости от конструкции его диэлектрической системы.

**Список литературы:** 1. *Кучинский Г.С., Назаров Н.И.* Силовые электрические конденсаторы. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 310 с. 2. *Гребенников И.Ю., Гунько В.И., Дмитришин А.Я., Онищенко Л.И., Швец И.С.* О повышении удельных энергетических характеристик и ресурса высоковольтных импульсных конденсаторов // *Электронная обработка материалов*. – 2004. – №5. – С. 70-73. 3. *Ермилов И.В.* Высоковольтные импульсные конденсаторы с полимерной изоляцией // *Электричество*. – 2006. – № 9. – С. 73-79. 4. *Рудаков В.В.* Стан та тенденції розвитку високовольтних імпульсних конденсаторів // *Вісник НТУ «ХПІ»: зб. наук. пр.: Тем. вип.: Техніка і електрофізика високих напруг*. – Х.: НТУ «ХПІ», 2009. – № 39. – С. 146-154. 5. *Варшавский Д.С.* Силовые конденсаторы / Под ред. Б.М. Тареева. – М.: ВИНТИ, 1980. – 128 с. 6. *Бутко М.В., Бутко С.М., Дубийчук О.Ю., Рудаков В.В., Свиридок С.Н.* Электрические характеристики изоляции импульсных конденсаторов, включающих слои полипропиленовой пленки толщиной 40 мкм // *Вісник НТУ «ХПІ»: зб. наук. пр.: Тем. вип.: Техніка і електрофізика високих напруг*. – Х.: НТУ «ХПІ», 2011. – № 49. – С. 47-53. 7. *Рудаков В.В., Касаткин В.П.* Удельная энергия высоковольтных импульсных конденсаторов с лавсановым диэлектриком // *Вісник НТУ «ХПІ»: зб. наук. пр.: Тем. вип.: Техніка і електрофізика високих напруг*. – Х.: НТУ «ХПІ», 2012. – № 21. – С. 233-237. 8. *Справочник по электротехническим материалам / Под ред. Ю.В. Коричко и др. Т.1.* – 3-е изд. перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 386 с. 9. Пат. 20693 Украина. МПК (2006) H01G 4/018 Способ очистки жидких диэлектриков, преимущественно полиметилсилоксановой жидкости ПМС-10 / *Онищенко Л.И., Гунько В.И., Гребенников И.Ю., Дмитришин А.Я., Фецук Т.А.*; заявитель и патентообладатель ИИПТ НАН Украины. - № u200607336; заявл. 03.07.06; опубл. 15.02.07, Бюл. № 2. – 4 с. 10. Пат. 25993 Украина. МПК (2006) H01G 4/018 Способ очистки ароматических углеводородных масел, преимущественно фенилксилсилэтана. / *Гребенников И.Ю., Гунько В.И., Дмитришин А.Я., Онищенко Л.И., Топоров С.О., Фецук Т.А.*; заявитель и патентообладатель ИИПТ НАН Украины. – № u200705244; заявл. 14.05.07; опубл. 27.08.07, Бюл. № 13. – 4 с. 11. Пат. 25595 Украина. МПК (2006) H01G 4/018 Способ очистки нефтяных трансформаторных масел, преимущественно масла Т-1500. / *Онищенко Л.И., Гунько В.И., Гребенников И.Ю., Дмитришин А.Я., Фецук Т.А.*; заявитель и патентообладатель ИИПТ НАН Украины. – № u200704319; заявл. 19.04.07; опубл. 10.08.07, Бюл. № 12. – 4 с. 12. *Гунько В.И., Дмитришин А.Я., Онищенко Л.И., Топоров С.О., Фецук Т.А.* Исследования конструкций пленочного диэлектрика для высоковольтных импульсных конденсаторов // *Электронная обработка материалов*. – 2012. – № 2. – С. 93-96. 13. Пат. 57999 Украина. МПК (2011.01) H01G 13/04 Способ пропитки электрических конденсаторов с пленочным диэлектриком. / *Гунько*

*В.И., Гребенников И.Ю., Дмитришин А.Я., Онищенко Л.И., Топоров С.О.*; заявитель и патентообладатель ИИПТ НАН Украины. - № u201010500; заявл. 30.08.10; опубл. 25.03.11, Бюл. № 6. - 4 с. **14.** *Гребенников И.Ю., Гунько В.И., Дмитришин А.Я., Михайлов И.Г., Онищенко Л.И., Фещук Т.А.* Исследование зависимости ресурса высоковольтных импульсных конденсаторов с пленочным диэлектриком от режимов эксплуатации // *Электротехника*. - 2006. - №6. - С. 36-41.

**Bibliography (transliterated):** **1.** Kuchinskii G.S., Nazarov N.I. Silovye elektricheskie kondensatory - Izd. 2-e, pererab. i dop. - Moscow: Energoatomizdat, 1992. Print. **2.** Grebennikov I.Yu., Gun'ko V.I., Dmitrishin A.Ya., Onischenko L.I., Shvec I.S. «O povyshenii udel'nyh energeticheskikh karakteristik i resursa vysokovol'tnykh impul'snykh kondensatorov» *Elektronnaya obrabotka materialov*. № 5. 2004. 70-73. Print. **3.** Ermilov I.V. «Vysokovol'tnye impul'snye kondensatory s polimernoj izolyatsiei» *Elektrichestvo*. № 9. 2006. 73-79. Print. **4.** Rudakov V.V. «Stan ta tendencii rozvitku visokovol'tnykh impul'snykh kondensatoriv» *Visnik NTU «KhPI»*: zb. nauk. pr.: Tem. vip.: Tehnika i elektrofizika visokih naprug. № 39. 2009. 146-154. Print. **5.** Varshavskii D.S. Silovye kondensatory Pod red. B.M. Tareeva. Moscow: VINITI, 1980. Print. **6.** Butko M.V., Butko S.M., Dubiichuk O.Yu., Rudakov V.V., Sviridok S.N. «Elektricheskie harakteristiki izolyatsii impul'snykh kondensatorov, vkluchayuschih sloi polipropileno-voi plenki tolschinoi 40 mkm» *Visnik NTU «KhPI»*: zb. nauk. pr.: Tem. vip.: Tehnika i elektrofizika visokih naprug. № 49. 2011. 47-53. Print. **7.** Rudakov V.V., Kasatkin V.P. «Udel'naya energiya vysokovol'tnykh impul'snykh kondensatorov s lavsanovym dielektrikom» *Visnik NTU «KhPI»*: zb. nauk. pr.: Tem. vip.: Tehnika i elektrofizika visokih naprug. № 21. 2012. 233-237. Print. **8.** Spravochnik po elektrotehnicheskim materialam Pod red. Yu.V. Korickogo i dr. T.1.- 3-e izd. pererab. - Moscow: Energoatomizdat, 1986. Print. **9.** Pat. 20693 Ukraina. MPK (2006) N01G 4/018 Sposob ochistki jidkikh dielektrikov, preimuschestvenno polimetilsiloksanovoi jidkosti PMS-10 Onischenko L.I., Gun'ko V.I., Grebennikov I.Yu., Dmitrishin A.Ya., Feschuk T.A.; заявитель i patentoobladatel' IIPТ NAN Ukrainy. - № u200607336; заявл. 03.07.06; опубл. 15.02.07, Byul. № 2. **10.** Pat. 25993 Ukraina. MPK (2006) N01G 4/018 Sposob ochistki aromatischeskikh uglevodородnykh масел, preimuschestvenno fenilksililetana. Grebennikov I.Yu., Gun'ko V.I., Dmitrishin A.Ya., Onischenko L.I., Toporov S.O., Feschuk T.A.; заявитель i patentoobladatel' IIPТ NAN Ukrainy. - № u200705244; заявл. 14.05.07; опубл. 27.08.07, Byul. № 13. **11.** Pat. 25595 Ukraina. MPK (2006) N01G 4/018 Sposob ochistki neftyanykh transformatornykh масел, preimuschestvenno masla T-1500. Onischenko L.I., Gun'ko V.I., Grebennikov I.Yu., Dmitrishin A.Ya., Feschuk T.A.; заявитель i patentoobladatel' IIPТ NAN Ukrainy. - № u200704319; заявл. 19.04.07; опубл. 10.08.07, Byul. № 12. **12.** Gun'ko V.I., Dmitrishin A.Ya., Onischenko L.I., Toporov S.O., Feschuk T.A. «Issledovaniya konstrukcii plenochного dielektrika dlya vysokovol'tnykh impul'snykh kondensatorov» *Elektronnaya obrabotka materialov*. № 2. 2012. 93-96. Print. **13.** Pat. 57999 Ukraina. MPK (2011.01) N01G 13/04 Sposob propitki elektricheskikh kondensatorov s plenochnym dielektrikom. Gun'ko V.I., Grebennikov I.Yu., Dmitrishin A.Ya., Onischenko L.I., Toporov S.O.; заявитель i patentoobladatel' IIPТ NAN Ukrainy. - № u201010500; заявл. 30.08.10; опубл. 25.03.11, Byul. № 6. **14.** Grebennikov I.Yu., Gun'ko V.I., Dmitrishin A.Ya., Mihailov I.G., Onischenko L.I., Feschuk T.A. «Issledovanie zavisimosti resursa vysokovol'tnykh impul'snykh kondensatorov s plenochnym dielektrikom ot rejimov ekspluatatsii» *Elektrotehnika*. №6. 2006. 36-41. Print.

*Поступила (received) 08.09.2014*

УДК 621.319.4

**Вплив стабілізації та очищення рідкого діелектрика на електричну міцність різних конструкцій плівкового діелектрика для високовольтних імпульсних конденсаторів / В.І. Гунько, О.Я. Дмитрішин, А.П. Малюшевська, С.О. Топоров // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – Х.: НТУ «ХПІ», 2014. – № 50 (1092). – С. 61-65. – Бібліогр.: 14 назв. – ISSN 2079-0740.**

Розглянуто питання про відмову від очищення та стабілізації рідкого діелектрика для просочення високовольтних імпульсних конденсаторів і вплив цього фактору на електричну міцність робочого діелектрика та ресурс конденсатора. Дослідження по визначенню короткочасної електричної міцності та ресурсу секцій на основі комбінованих плівкових діелектричних структур різної товщини показали, що короткочасна електрична міцність систем з неочищеним просочуючим діелектриком практично не змінюється, а середній очікуваний ресурс зменшується від 2 до 4 раз.

**Ключові слова:** високовольтний імпульсний конденсатор, рідкий просочувальний діелектрик, електрична міцність, очікуваний ресурс.

УДК 621.319.4

**Влияние стабилизации и очистки жидкого диэлектрика на электрическую прочность различных конструкций пленочного диэлектрика для высоковольтных импульсных конденсаторов / В.И. Гунько, А.Я. Дмитришин, А.П. Малюшевская, С.О. Топоров // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – Х.: НТУ «ХПІ», 2014. – № 50 (1092). – С. 61-65. – Бібліогр.: 14 назв. – ISSN 2079-0740.**

Рассмотрен вопрос об отказе от очистки и стабилизации жидкого диэлектрика для пропитки высоковольтных импульсных конденсаторов и влияния этого фактора на электрическую прочность рабочего диэлектрика и ресурс конденсатора. Исследования по определению кратковременной электрической прочности и ресурса секций на основе комбинированных пленочных диэлектрических структур различной толщины показали, что кратковременная электрическая прочность систем с неочищенным пропитывающим диэлектриком практически не изменяется, а средний ожидаемый ресурс уменьшается от 2 до 4 раз.

**Ключевые слова:** высоковольтный импульсный конденсатор, жидкий пропитывающий диэлектрик, электрическая прочность, ожидаемый ресурс.

**Influence of stabilization and refining of liquid dielectric on dielectric strength of different constructions of film dielectric for high-voltage pulse capacitors / V.I. Gun'ko, A.Ya. Dmitrishin, A.P. Malyushevskaya, S.O. Toporov // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Technique and electrophysics of high voltage. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2014. – № 50 (1092). – С. 61-65. – Bibliogr.: 14. – ISSN 2079-0740.**

The purpose of the article is an estimation of possibility of rejection from refining and stabilization of liquid dielectric for impregnation of high-voltage pulse capacitors and prognostication of the here expected average life-time of high-voltage pulse condensers with the different constructions of film dielectric. Researches about determination of short-time dielectric strength and life-time of sections on the base of the combined film dielectric structures of different thickness were made. As results were to get, that short-time dielectric strength of the systems with an unrefined impregnating with dielectric did not change practically, and an average life-time decreases from 2 to 4 times. The established regularities allow controlling of the processes of graphite conductor's electro-explosion at purposeful production of carbon nanomaterials of specific allotropic form.

**Keywords:** high-voltage pulse capacitor, liquid impregnate dielectric, dielectric strength, average expected life-time.