УДК 541.133:621.319.45:547.898

ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК МАКРОГЕТЕРОЦИКЛИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ И ИХ МЕТАЛЛОКОМПЛЕКСОВ НА ТЕМПЕРАТУРНО-ЧАСТОТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАКЕТОВ АЛЮМИНИЕВЫХ ОКСИДНЫХ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИХ КОНДЕНСАТОРОВ

© 2019 г. А. С. Кузнецова^{*a*, *b*, *, А. Я. Мехряков^{*b*}, С. В. Волков^{*b*}, О. И. Койфман^{*a*}, М. К. Исляйкин^{*a*}, **}

^аИвановский государственный химико-технологический университет, Международная научно-исследовательская лаборатория наноматериалов, Научно-исследовательский институт макрогетероциклических соединении просп. Шереметевский, 7, Иваново, 153000 Россия ^bOAO "Элеконд", Лаборатория алюминиевых конденсаторов ул. Калинина, 3, Сарапул, Удмуртская Республика, 427968 Россия *e-mail: kuznetsova.alex.91@gmail.com **e-mail: islyaikin@isuct.ru Поступила в редакцию 25.12.2017 г.

После доработки 12.09.2018 г. Принята к публикации 27.09.2018 г.

Исследовано влияние добавок макрогетероциклических соединений ABAB- и A'BBB-типов, где A – 1,3-фенилен или 2,6-пиридин, A' – 1,3-фенилен и B – 1,3-изоиндолин связаны между собой азамостиками, и их комплексов с медью(II) и кобальтом(II) на температурно-частотные характеристики макетов алюминиевых малогабаритных оксидно-электролитических конденсаторов вертикальной ЧИП-конструкции в диапазоне температур –60...+100°С и диапазоне частот 50 Гц...200 кГц. Показано, что добавки макрогетероциклов и их комплексов уменьшают значения сопротивления и токов утечки макетов в изученных условиях.

Ключевые слова: макрогетероциклическое соединение, рабочий электролит, макет алюминиевого оксидного электролитического конденсатора

DOI: 10.1134/S0424857019010067

ВВЕДЕНИЕ

Бесперебойная работа конденсаторов – залог стабильного использования различной электроники и техники. Алюминиевые оксидные электролитические конденсаторы (АОЭК) являются наиболее дешевыми и малогабаритными конденсаторами большой емкости для цепей постоянного тока при напряжениях, не превышающих 630 В [1-4]. Вследствие электрохимического газовыделения при протекании тока [5] на обкладках происходит так называемое "вздутие" конденсаторов, т.е. повышение давления внутри корпуса. К сожалению, механизм этого разрушительного процесса изучен недостаточно полно, но есть основания предполагать, что это явление связано с образованием активных частиц радикальной природы [6, 7]. В связи с этим введение специальных химических добавок в рабочие электролиты конденсаторов, способных ингибировать образование радикалов, представляется весьма целесообразным. При этом добавки должны не только эффективно связывать радикалы, но и отвечать противоречивым условиям: снижению сопротивления и увеличению напряжения искрения.

Макрогетероциклические соединения (**Mc**), в частности различные производные гемипорфиразинов, являются объектами интенсивных научных исследований [8–13]. Они обладают практически ценными свойствами, наиболее интересным из которых является способность улавливать и рекомбинировать радикалы [14].

Так медный комплекс Мс 6 принят отечественной промышленностью в качестве термо- и светостабилизатора поликапроамидного волокна под названием "Стабилин-9" [15]. Изучение электропроводности [16, 17] показало, что в твердом состоянии Мс 1–3 и их комплексы с медью 4–6 и кобальтом 7–9 имеют удельную проводимость, колеблющуюся в широком интервале от 10^{-7} до 10^{-17} Ом⁻¹ см⁻¹, при этом проводимость при повышении температуры изменяется экспоненциально, т.е. подчиняется закону Ома.



5, 8 X - N, M - Cu/Co



На основании изложенного выше следовало ожидать, что добавки Mc и их металлокомплексов к электролиту могут повысить эффективность работы электролитических конденсаторов. Однако на момент постановки настоящей работы в литературе не содержалось сведений об использовании Mc в этих устройствах. Поэтому целью работы является изучение влияния добавок Mc и их металлокомплексов на температурно-частотные характеристики макетов алюминиевых оксидных электролитических конденсаторов.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

ЭСП в видимой и УФ-областях регистрировали на спектрофотометре HITACHI U-2001 (Hitachi, Япония) при комнатной температуре в кварцевых прямоугольных кюветах толщиной 10 мм. Элементный анализ проводили на приборе FlashEA 1112 CHNS–O Analyzer (Thermo Scientific, CША). ИК-спектры регистрировали на спектрометре AVATAR 360 FT-IR (Fastest-Growing, Канада). Образцы для ИК-спектров в виде таблеток готовили тщательным растиранием образца в КВг и прессованием. MALDI-TOF спектры регистрировали в области положительных ионов без использования матрицы, а также с дигидроксибензойной кислотой (DHB) и α-циано-4-гидрокоричной кислотой (CHCA) в качестве матриц на приборе Shimadzu Biotech Axima Confidence (Shimadzu, Япония).

Макрогетероциклические соединения 1–3 были получены и очищены в соответствии с методиками [18–21].

Выход 1: 55%. λ_{max} (lgɛ), (ДМФА), нм: 327 (4.25), 340 (4.08) (328 (4.23), 343 (4.23) [19]). $T_{\pi\pi} =$ = 379–380°С (380°С [19]). Найдено, %: С 73.22; Н 4.71; N 18.45. Вычислено для C₂₈H₁₈N₆ · H₂O, %: С 73.67; Н 4.42; N 18.41. ИК-спектр (KBr), $\bar{\nu}$, см⁻¹: 3748, 3669, 3446, 3417, 2961, 2922, 2852, 1672, 1577, 1472, 1361, 1262, 1186, 1099, 1051, 956, 874, 804, 693. MALDI-TOF *m*/*z*, Да (DHB): найдено: 439.2, вы-

числено для $C_{28}H_{19}N_6^+$: EM = 439.2 [M + H]⁺.

Выход 2: 51%. λ_{max} (lgɛ), (ДМФА), нм: 352 (4.22) (354 (4.31) [20]). $T_{n\pi} = 348-350^{\circ}\text{C}$ (3448°C [20]). Найдено, %: C 69.97; H 3.59; N 25.01. Вычислено для $C_{26}H_{16}N_8$, %: C 70.90; H 3.66; N 25.44. ИК-спектр (КВг), \overline{v} , см⁻¹: 3450, 1666, 1577, 1555, 1471, 1430, 1231, 1152, 1099, 771, 690. MALDI-TOF m/z, Да (DHB): найдено: 441.1, вычислено для $C_{26}H_{12}N_8^+$: EM = 441.1 [M + H]⁺.

Выход **3**: 31%. λ_{max} (lg ϵ), (хлороформ), нм: 506 (3.73). Найдено, %: С 74.59; Н 3.47; N 20.29. Вычислено для $C_{30}H_{17}N_7$, %: С 75.78; Н 3.60; N 20.62. MALDI-TOF *m*/*z*, Да (DHB): найдено: 476.1, вычислено для $C_{30}H_{18}N_7^+$: EM = 476.2 [M + H]⁺.

Медные и кобальтовые комплексы **4**–**6** и **7**–**9** получали по общей методике [13, 21].

Выход **4**: 66%. ИК-спектр (КВг), \overline{v} , см⁻¹: 3420, 2971, 2926, 2850, 1656, 1553, 1472, 1371, 1297, 1152, 1104, 1042, 877, 773, 708. MALDI-TOF *m*/*z*, Да (СНСА): найдено: 499.0, вычислено для $C_{28}H_{16}N_6Cu^+$: ЕМ = 499.1 [M]⁺.

Выход 5: 68%. ИК-спектр (КВг), ⊽, см⁻¹: 3380, 2973, 2891, 1620, 1578, 1469, 1430, 1375, 1317, 1259, 1192, 1111, 1084, 882, 812, 775, 705. MALDI-TOF *m/z*, Да (СНСА): найдено: 502.1, вычислено для C₂₆H₁₄N₈Cu⁺: ЕМ = 502.0 [M]⁺.

Выход **6**: 86%. ИК-спектр (КВг), \overline{v} , см⁻¹: 3445, 3287, 3258, 3071, 2923, 2847, 1630, 1584, 1542, 1498, 1404, 1313, 1248, 1169, 1079, 1051, 1007. 880, 807, 772, 729, 690. MALDI-TOF *m*/*z*, Да (без матрицы): найдено: 536.0, вычислено для $C_{30}H_{15}N_7Cu^+$: EM = 536.1 [M]⁺.

Выход 7: 52%. MALDI-TOF m/z, Да (CHCA): найдено: 496.0, вычислено для $C_{28}H_{17}N_6Co^+$: EM = 495.1 [M + H]⁺.

Выход 8: 38%. MALDI-TOF m/z, Да (DHB): найдено: 497.0, вычислено для $C_{26}H_{14}N_8Co^+$: EM = 497.1 [M]⁺.

Выход 9: 27%. MALDI-TOF m/z, Да (без матрицы): найдено: 532.0, вычислено для $C_{30}H_{15}N_7Co^+$: EM = 532.1 [M]⁺.

Добавки Мс 1–3 и их металлокомплексов 4–9 растворяли в N,N-диметилформамиде и вводили в электролит со следующим соотношением компонентов (%): диметилформамид – 73.1, этиленгликоль – 19.4, *n*-нитроанизол – 1.1, себациновая кислота – 1.9, N-этилдиизопропиламин – 1.9, вода – 2.6. Концентрацию добавок Мс подбирали экспериментально: максимальное количество, растворимое в основном составе электролита, которое не приводило к коррозии экспериментального образца при определении формующей способности.

Определение напряжения искрения проводили с использованием предварительно оксидированного образца алюминиевой фольги на источнике питания постоянного тока GPR-100H05D (Good Will Instrument Co., Россия) при постоянном значении тока 1 мА, медленно повышая напряжение до начала искрения в соответствии с методикой [22]. Определение формующей способности проводили аналогичным способом с использованием предварительно травленого образца алюминиевой фольги на источнике питания GPR-100H05D при значении тока 125 мА в течение 10 мин при постоянном максимальном напряжении без искрения.

Измерение удельного сопротивления объектов исследования при нормальных условиях (температура электролита (20 ± 1)°С) проводили на кондуктометре модели "712 Conductometr" (Metrom, Швейцария), помещая ячейку кондуктометра в



Рис. 1. Макет конденсатора с проволочными выводами ЧИП-конструкции: 1 – алюминиевый корпус, 2 – втулка, 3 – секция, 4 – алюминиевые проволочные выводы, 5 – сталемедные проволочные выводы, 6 – ЧИП-площадка.

электролит и фиксируя значение проводимости, при этом температура электролита контролировалась по термометру сопротивления Pt 1000. Измерение удельной проводимости при минусовых температурах проводили на том же кондуктометре "712 Conductometer", проводя термостатирование электролита в климатической испытательной камере. Температуру электролита контролировали по термометру сопротивления Pt 1000 [22].

Измерения при испытаниях макетов конденсаторов с объемом выборки n = 2...5 на воздействие пониженной ($-60 \pm 1^{\circ}$ С) и повышенной ($+100 \pm 1^{\circ}$ С) температуры, определение значения тока утечки (I_{yT} , мкА) при подаче постоянного напряжения при различных частотах и температуре, а также измерение электрических характеристик конденсаторов проводили на РМЭ-8 (Россия), IR-meter 1855 (QuadTech, Канада), LCR-meter 7600 (IETLAB, США) [22].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Ранее нами было показано [23, 24], что добавки безметальных Mc 1 и 2, а также комплексов 6 и 7 практически в 2 раза снижают значение сопротивления как при нормальных условиях (ρ_{20}), так и при пониженной температуре (ρ_{-60}), не сокращая при этом напряжения искрения (U_{μ}) и формовки (U_{ϕ}), а также практически не влияя на значение остаточного тока (I_{oct}) (табл. 1).

Добавки использовались в каталитических количествах, концентрация в основном зависела от растворимости Мс и их металлокомплексов в основном составе электролита.

Для исследования влияния добавок Мс были выбраны алюминиевые малогабаритные оксидно-электролитические конденсаторы вертикальной ЧИП-конструкции (рис. 1), предназначенные для работы в цепях постоянного и пульсиру-

КУЗНЕЦОВА и др.

1 20 I =00 ⁵			2		1		1	001	
Без добавок	1	2	3	4	5	6	7	8	9
_	0.5	0.5	0.5	0.5	0.3	0.005	0.04	0.3	0.1
622	617	622	613	546	580	608	603	586	617
620	650	630	550	450	500	640	620	500	500
7	7	7	37	22	27	5	5	20	34
3976	3546	3891	3636	3269	2797	3974	3651	3238	3575
18057	16520	18315	16279	17652	18685	17730	16617	17473	16812
	Без добавок — 622 620 7 3976 18057	Без добавок 1 — 0.5 622 617 620 650 7 7 3976 3546 18057 16520	Без добавок 1 2 — 0.5 0.5 622 617 622 620 650 630 7 7 7 3976 3546 3891 18057 16520 18315	Без добавок 1 2 3 — 0.5 0.5 0.5 622 617 622 613 620 650 630 550 7 7 7 37 3976 3546 3891 3636 18057 16520 18315 16279	Без добавок 1 2 3 4 - 0.5 0.5 0.5 0.5 622 617 622 613 546 620 650 630 550 450 7 7 7 37 22 3976 3546 3891 3636 3269 18057 16520 18315 16279 17652	Без добавок 1 2 3 4 5 — 0.5 0.5 0.5 0.5 0.3 622 617 622 613 546 580 620 650 630 550 450 500 7 7 7 37 22 27 3976 3546 3891 3636 3269 2797 18057 16520 18315 16279 17652 18685	Без добавок 1 2 3 4 5 6 - 0.5 0.5 0.5 0.5 0.3 0.005 622 617 622 613 546 580 608 620 650 630 550 450 500 640 7 7 7 37 22 27 5 3976 3546 3891 3636 3269 2797 3974 18057 16520 18315 16279 17652 18685 17730	Без добавок 1 2 3 4 5 6 7 — 0.5 0.5 0.5 0.5 0.3 0.005 0.04 622 617 622 613 546 580 608 603 620 650 630 550 450 500 640 620 7 7 7 37 22 27 5 5 3976 3546 3891 3636 3269 2797 3974 3651 18057 16520 18315 16279 17652 18685 17730 16617	Image: boot of the set of the s

Таблица 1. Результаты испытаний добавок 1–9 на напряжения искрения U_{μ} и формовки U_{ϕ} , сопротивления при температуре 20°С ρ_{20} и -60°С ρ_{-60} , а также на величину остаточного тока рабочего электролита $I_{\text{ост}}$

Таблица 2. Результаты испытаний макетов радиальных конденсаторов с применением рабочего электролита, содержащего 1, 2, 6, 7, при температуре $+25^{\circ}$ С на значения емкости $C_{\text{ном}}$ и тангенса угла диэлектрических потерь tgδ, полного Z и эквивалентного R последовательного сопротивления и токов утечки I_{vr}

№ п/п	Мс	$C_{\rm hom}$, мк Φ	tgδ, % f= 50 Гц	Ζ,	Ом	<i>R</i> , Ом <i>f</i> = 100 Гц	<i>I</i> _{ут} , мкА	
		<i>f</i> = 50 Гц		<i>f</i> = 50 Гц	<i>f</i> = 100 кГц		1 мин	5 мин
1	_	20.6 ± 0.1	4.7 ± 0.0	154.6 ± 0.7	3.2 ± 0.0	6.0 ± 0.1	8.3 ± 0.6	3 ± 0.2
2	1	20.5 ± 0.2	4.9 ± 0.1	155.4 ± 1.1	3.6 ± 0.1	6.4 ± 0.1	11 ± 1.0	4 ± 0.1
3	2	20.5 ± 0.2	4.5 ± 0.1	155.5 ± 1.3	3.2 ± 0.1	5.9 ± 0.0	9 ± 1.4	3.5 ± 0.5
4	6	20.7 ± 0.1	5.2 ± 0.1	153.7 ± 0.3	3.6 ± 0.1	6.7 ± 0.3	8.8 ± 0.5	3 ± 0.0
5	7	20.5 ± 0.3	3.8 ± 0.3	155.4 ± 2.2	2.5 ± 0.2	4.6 ± 0.3	8.3 ± 0.9	3 ± 0.1

ющего тока вторичных источников питания и преобразовательной техники. Значение номинальной емкости для макетов конденсаторов $C_{\text{ном}} = 22 \text{ мк} \Phi$, а номинальное напряжение $U_{\text{ном}} =$ = 450 B, с удельным зарядом 2 984 мкКл/см³, величиной тангенса угла диэлектрических потерь (100 Гц, 25°С) tg δ не более 0.25% и значением тока утечки (5 мА, 25°С) I_{yT} не более 396 мкА, устойчивые в температурном диапазоне -60...+100°С.

На первом этапе проводили определение и контроль значений емкости и тангенса угла диэлектрических потерь при стандартных частотах измерения: 50, 100, 120 Гц, 1, 10, 100, 200 кГц [22]. Величину тока утечки отсчитывали после подачи на конденсатор измерительного напряжения через 5 мин \pm 10 с. Полное и эквивалентное последовательное сопротивление измеряли при стандартных частотах [25]. Полученные данные по влиянию добавок на свойства макетов конденсаторов при нормальных условиях (+25°C) представлены в табл. 2.

Было установлено, что все макеты конденсаторов соответствуют нормам, при этом добавка 7 значительно снижает значение сопротивления и тангенса угла диэлектрических потерь. Далее проводили испытания на воздействие повышенной (+100°С) и пониженной (-60°С) температуры среды при постоянном напряжении $U_{\text{ном}} = 450$ В (табл. 3).

Таблица 3. Результаты испытаний макетов радиальных конденсаторов с применением рабочего электролита, содержащего 1, 2, 6, 7, при повышенной (+100°С) и пониженной (-60°С) температуре среды на значения емкости ΔC , токов утечки $I_{\rm yr}$, тангенса угла диэлектрических потерь tg δ , полного Z и эквивалентного R последовательного сопротивлений

		+100°C		-60°C					
№ п/п	Mc	$\Delta C, \%$	$I_{\rm yt}$, мкА	$\Delta C, \%$	tgδ, %	Z_{-60}/Z_{+25}	<i>R</i> , Ом		
		(f=50 Гц)	(1 мин)	(f = 50 Гц)	(f=50 Гц)	(f = 50 Гц)	(f = 100 Гц)		
1	_	4.9 ± 0.0	180 ± 20	-9.3 ± 0.1	65.2 ± 1.9	1.32 ± 0.01	107.2 ± 2.6		
2	1	5.6 ± 0.2	245 ± 15	-10 ± 0.1	72.2 ± 3.4	1.37 ± 0.02	119.8 ± 6.6		
3	2	5.1 ± 0.3	290 ± 10	-8.8 ± 0.1	57.2 ± 0.3	1.27 ± 0.01	94.0 ± 1.4		
4	6	5.6 ± 0.2	460 ± 25	-10.2 ± 0.3	69.2 ± 0.5	1.36 ± 0.00	114.0 ± 1.2		
5	7	5.6 ± 0.3	155 ± 15	-15.2 ± 1.4	112.3 ± 9.9	1.78 ± 0.16	197.3 ± 8.9		

ЭЛЕКТРОХИМИЯ том 55 № 4 2019

Таблица 4. Результаты испытаний макетов радиальных конденсаторов с использованием рабочего электролита 1, 2, 6, 7, на воздействие повышенной температуры (+100°С) без электрической нагрузки и на воздействие изменения температуры среды (-60° С ... +100°С) на значения емкости ΔC , тангенса угла диэлектрических потерь tg δ и токов утечки $I_{\rm VT}$

№ п/п	Mc	без элект	+100°С грической нагу	рузки	Изменение температуры среды — 60+100°С			
		Δ <i>C</i> , % (<i>f</i> = 50 Гц)	tgδ, % (f = 50 Гц)	I _{ут} , мкА (5 мин)	$\Delta C, \%$ (f = 50 Γц)	tgδ, % (f = 50 Гц)	I _{ут} , мкА (5 мин)	
1	_	-0.73 ± 0.24	2.9 ± 0.2	890 ± 10	-0.73 ± 0.14	4.1 ± 0.1	13.5 ± 4.5	
2	1	-1.02 ± 0.05	3.1 ± 0.0	290 ± 90	-0.49 ± 0.06	4.2 ± 0.1	12.5 ± 5.5	
3	2	-0.93 ± 0.20	3.3 ± 0.0	620 ± 190	-0.49 ± 0.00	4.4 ± 0.3	10.0 ± 4.0	
4	6	-1.14 ± 0.03	3.2 ± 0.1	470 ± 90	-0.24 ± 0.03	4.5 ± 0.3	17.5 ± 5.5	
5	7	-0.10 ± 0.68	2.5 ± 0.2	5200 ± 300	0.49 ± 0.00	2.7 ± 0.1	40 ± 28	

В процессе воздействия повышенной температуры среды, значение изменения емкости ΔC_{μ} не должно превышать 15%, а величина тока утечки не должна быть выше 1980 мкА [25]. В этом случае все добавки соответствуют нормам, при этом добавка 7 незначительно снижает значение тока утечки. Важной характеристикой конденсаторов при пониженной температуре является минимальное значение Z_{-60}/Z_{+25} , определяемое соотношением значений удельных сопротивлений. Как следует из данных, приведенных в табл. 3, добавка 2 уменьшает величину этого показателя.

На последнем этапе были проведены испытания макетов конденсаторов с добавками на воздействие повышенной температуры (+100°С) без электрической нагрузки в течение 96 ч и на воздействие изменения температуры среды -60...+100°С (табл. 4).

По данным табл. 4 видно, что добавки 1, 2 и 6 значительно сокращают значения токов утечки, что позволяет увеличить продолжительность работы конденсатора.

Характер зависимости изменения полного сопротивления Z (импеданс) и эквивалентного последовательного сопротивления R макетов конденсаторов с рабочим электролитом без добавок и с добавками Mc 1, 2, 6 и 7 от частоты v при температуре -60° C (60Z и 60R), 25°C (25Z и 25R) и 100°C (100Z и 100R) приведен на рис. 2.

Характер зависимости изменения значений емкости ΔC_{μ} и тангенса угла диэлектрических потерь tg δ макетов конденсаторов от температуры приведен на рис. 3.



Рис. 2. Характер зависимости полного сопротивления Z (а) и эквивалентного последовательного сопротивления R (б) макетов конденсаторов с рабочим электролитом без добавок и с добавками Mc **1**, **2**, **6** и **7** от частоты при значениях температуры -60, 25 и 100° C.

ЭЛЕКТРОХИМИЯ том 55 № 4 2019



Рис. 3. Характер зависимости изменения емкости ΔC (а) и тангенса угла потерь tg δ (б) макетов конденсаторов с рабочим электролитом без добавок и с добавками Mc **1**, **2**, **6** и **7** от температуры.

При исследовании влияния добавок Мс и их металлокомплексов на температурно-частотные характеристики макетов конленсаторов было показано, что добавки 1 и 6 значительно уменьшают величины токов утечки при воздействии повышенной температуры без электрической нагрузки, а 2 значительно уменьшает сопротивление при пониженной температуре. Положительное влияние может быть объяснено рекомбинированием Мс свободных радикалов, возникающих в результате электрохимических процессов на обкладках конденсатора. Маловыраженный положительный эффект может быть следствием низкой концентрации Мс, поэтому для дальнейших испытаний предлагается использовать макрогетероциклические соединения с объемными заместителями, которые усиливают растворимость в органических растворителях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлено, что добавки незамещенных макрогетероциклических соединений и их металлокомплексов уменьшают значения сопротивления при пониженной (-60°С) и уменьшают величины токов утечки при воздействии повышенной (+100°С) температуры макетов алюминиевых малогабаритных оксидно-электролитических конденсаторов вертикальной ЧИП-конструкции в диапазоне частот 50 Гц–200 кГц, и могут быть рекомендованы для дальнейших испытаний.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 14-23-00204П. Исследование макрогетероциклических соединений и их металлокомплексов проведено с использованием ресурсов Центра коллективного пользования научным оборудованием ФГБОУ ВО "ИГХТУ". Испытания макетов алюминиевых оксидных электролитических конденсаторов проведены с использованием ресурсов лаборатории алюминиевых конденсаторов ОАО "Элеконд".

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Невский, О.И., Гришина, Е.П. Барьерные оксидные пленки на алюминии. Иваново: ГОУ ВПО Иван. гос. хим.-технол. ун-т., 2003. 84 с. [Nevskii, O.I. and Grishina, E.P., *The barrier oxide films on aluminum* (in Russian), Ivanovo: GOU VPO ISUCT, 2003. 84 p.]
- Ренне, В.Т. Электрические конденсаторы. Л.: Энергия, 1969. 592 с. [Renne, V.T., The electrolytic capacitors (in Russian), L.: Energy, 1969. 592 p.]
- Закгейм, Л.Н. Электролитические конденсаторы. М.–Л.: Госэнергоиздат, 1963. 294 с. [Zakgeym, L.N., *The electrolytic capacitors* (in Russian), M.–L.: Gosenergoizdat, 1963. 294 p.]
- 4. Меркулов, В.И. Основы конденсаторостроения. Томск: Изд. ТПУ, 2001. 121 с. [Merkulov, V.I., Basics of capacitors construction (in Russian), Tomsk: Izd. TPU, 2001. 121 p.]
- 5. Гуревич, В.И. Электролитические конденсаторы: особенности конструкции и проблемы выбора. *Компоненты и технологии*. 2012. № 5. С. 28. [Gurevich, V.I., The electrolytic capacitors: features of design and problems of choice, *Komponenti I technologii* (in Russian), 2012, no. 5, p. 28.]
- Ross, S.D., Petersen, R.C., and Finkelstein, M., Electrolytic capacitor. Patent US3,052,829 (USA). 1962.
- Takechi, K., Higashi, Sh., Mizuno, F., Nishikoori, H., Iba, H., and Shiga, T., Stability of Solvents against Superoxide Radical Species for the Electrolyte of Lithium-Air Battery, *ECS Electrochemistry Letters*, 2012, vol. 1, no. 1, p. A27.

- Fernánrez-Lazáro, F., Torres, T., Hauschel, B., and Hanack, M., Hemiporphyrazines as Targets for the Preparation of Molecular Materials: Synthesis and Physical Properties, *Chem. Rev.*, 1998, vol. 98, no. 2, p. 563.
- 9. de la Torre, G., Vazquez, P., Aguillo-Lopez, F., and Torres, T., Role of Structural Factors in the Nonlinear Optical Properties of Phthalocyanines and Related Compounds, *Chem. Rev.*, 2004, vol. 104, p. 3723.
- Islyaikin, M.K., Danilova, E.A., Romanenko, Yu.V., Khelevina, O.G., and Lomova, T.N., Synthesis, Structure Peculiarities and Biological Properties of Macroheterocyclic Compounds, BRILL: Leiden-Boston, 2008, p. 219.
- Исляйкин, М.К., Данилова, Е.А., Кудрик, Е.В. Макрогетероциклические соединения. Строение. Синтез. Свойства. В кн.: Успехи химии порфиринов, отв. редактор проф. Голубчиков О.А. СПб.: Изд-во НИИ Химии СПбГУ, 1999, Т. 2, С. 300. [Islyaikin, М.К., Danilova, Е.А., and Kudrik, E.V., Macroheterocyclic compounds. Structure. Synthesis. Properties, In: Advances in Porphyrin Chemistry (in Russian), Golubchikov O.A., Eds, SPb: Izd-vo NII Khimii SPbGU, 1999, vol. 2, p. 300.]
- 12. Islyaikin, M.K. and Danilova, E.A., Structural analogs of tetrapyrrole macrocycles and their biological properties, *Russ. Chem.l Bull. International Edition*, 2007, vol. 5, no. 4, p. 689.
- Смирнов, Р.П., Бородкин, В.Ф., Лукьянова, Г.И. Синтез металлических комплексов несимметричных макроциклов. *Изв. вузов. Химия и хим. технол.* 1964. вып. 1. С. 118. [Smirnov, R.P., Borodkin, V.F., and Luk'yanova, G.I., Synthesis of metallocomplexes of nonsymmetrical macrocycles, *Izv. vuzov. Khimiya i khim. technologiya* (in Russian), 1964, vol. 1, p. 118.]
- 14. Смирнов, Р.П., Смирнов, Л.Н., Харитонов, В.М. Термостабилизация поликапроамидных волокон металлсодержащими макрогетероциклическими соединениями. *Тр. ИХТИ*. 1972. вып. 14. № 4. С. 111. [Smirnov, R.P., Smirnov, L.N., and Charitonov, V.M., Thermal stabilization of polycaproamide fibers with metal-containing macroheterocyclic compounds, *Tr. IKhTI* (in Russian), 1972, vol. 14, no. 4, p. 111]
- Баранова, А.С., Барышникова, Г.С., Глазунова, Н.А., Делюстро, В.М., Золотарева, К.А., Маслова, И.П., Пугачева, Л.А., Скрипко, Л.А. Химические добавки к полимерам. М.: Химия, 1981. 264 с. [Baranova, A.S., Barishnikova, G.S., Glazunova, N.A., Delustrovo, V.M., Zolotareva, K.A., Maslova, I.P., Pugacheva, L.A., and Skripko, L.A., Chemical additives to polymers (in Russian), M.: Chemistry, 1981. 264 p.]
- Федоров, Л.М., Смирнов, Р.П., Колесников, Н.А., Альянов, М.И. Электропроводность макрогетероциклических соединений и их металлических комплексов. Изв. вузов. Химия и хим. технология. 1972.
 Т. 15. № 4. С. 537. [Fedorov, L.M., Smirnov, R.P., Kolesnicov, N.A., and Al'yanov, M.I., Electrical conductivity of macroheterocyclic compounds and their metallocomplexes, Izv. vuzov. Khimiya i khim. technologiya (in Russian), 1972, vol. 15, no. 4, p. 537.]
- 17. Fernandez-Lazaro, F., Rodríguez-Morgade, S., and Torres, T., Synthesis and electrical properties of metal-

lotriazolehemiporphyrazines, *Synthetic Metals*, 1994, vol. 62, no. 3, p.281.

- Elvidge, J.A. and Linstead, R.P., Conjugated Macrocycles. Part XXIV. A New Type of Cross-conjugated Macrocycle, related to the Azaporphins, *J. Chem. Soc.*, 1952, p. 5000.
- Clark, P.F., Elvidge, J.A., and Linstead, R.P., Conjugated Macrocyclar. Part XX V. Cross-conjugated Macrocycles with Inner Great Rings of 16, 20, and 24 Atoms, *J. Chem. Soc.*, 1954, p. 2490.
- Elvidge, J.A. and Golden J., Conjugated Macrocycles. Part XXVIII.* Adducts from Diimimisoindoline and Arylene-*m*-diamines, and a New Type of Cross-conjugated Macrocycle with Three-quarters of the Chromophore of Phthalocyanine, *J. Chem. Soc*, 1957, p. 700.
- Смирнов, Р.П. Спектры поглощения макрогетероциклического соединения с внутренним окном подобным фталоцианину. Изв. вузов. Химия и хим. технология. 1967. Т. 10. вып. 11. С. 1262. [Smirnov, R.P., Absorption spectra of macroheterocyclic compound with phthalocyanine-like inside cavity, Izv. vuzov. Khimiya i khim. technologiya (in Russian), 1967, vol. 10, no. 11, p. 1262.]
- 22. ГОСТ 28885–90. Конденсаторы. Методы измерений и испытаний, Москва: ИПК Изд-во стандартов, 1992. 29 с. [GOST 28885–90. Capacitors. Methods of measurement and testing (in Russian), Moscow: IPC Izd-vo standartov, 1992. 29 p.]
- 23. Кузнецова, А.С., Исляйкин, М.К. Влияние добавок макрогетероциклических соединений на свойства рабочих электролитов. *Тез. докл. региональной студенческой научной конференции ДНИ НАУКИ—2013 "Фундаментальные науки специалисту новоео века"*. Иваново: ФГБОУ ВПО Иван. гос. хим.технол. ун-т., 2013. Т. 1, С. 133. [Kuznetsova, A.S. and Islyaikin, М.К., The influence of the macroheterocyclic compounds dopants on properties of working electrolyte, *Conf. Proc. Regional'noi studencheskoi nauchnoi conferencii DNI NAUKI–2013 "Fundamental'nie nauki specialistu novogo veka"* (in Russian), Ivanovo: FGBOU VPO IGKhTU, 2013. vol. 1, p. 133.]
- 24. Кузнецова, А.С., Исляйкин, М.К. Изучение влияния добавок макрогетероциклических соединений и их металлокомплексов на параметры электролита. *Тез. докл. VI международной научной конференции "Современные методы в теоретической и экспериментальной электрохимии"*. Иваново: ИХР им. Г.А. Крестова РАН, 2014, С. 121. [Kuznetsova, A.S. and Islyaikin, М.К., The influence of the macroheterocyclic compounds and their metallocomplexes dopants on parameters of electrolyte, *Conf. Proc. VI mezdunarodnoi nauchnoi conferencii "Sovremennie metodi v teoreticheskoi i experemental'noi electrochimii"* (in Russian), Ivanovo: IKhR im. G.A. Krestova RAN, 2014, p. 121.]
- 25. ГОСТ Р МЭК 60384—1—2003. Конденсаторы постоянной емкости для электронной аппаратуры. Часть 1. Общие технические условия. Москва: Госстандарт России, 2004. 45 с. [GOST R MEC 60384—1—2003. Capacitors of constant capacity for electronic equipment. Part 1, General specifications (in Russian), Moscow: Gosstandart Rossii, 2004. 45 p.]