

УДК 541.135

ВЛИЯНИЕ ПОРИСТОЙ СТРУКТУРЫ ПОЛИМЕРНОЙ МЕМБРАНЫ НА ОСНОВЕ ФТОРОПЛАСТА Ф-42 НА ПРОЦЕСС ИОНИЗАЦИИ КИСЛОРОДА В МАКЕТЕ СВИНЦОВО-КИСЛОТНОГО АККУМУЛЯТОРА

А. А. Сапишева, М. М. Бурашникова ✉, В. С. Шалаева, Д. А. Топорищева, И. А. Казаринов

*Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского
410012, Россия, Саратов, ул. Астраханская, 83*

✉ E-mail: burashnikova_mm@mail.ru

Поступила в редакцию 28.12.15 г.

Методом электроформования получена полимерная мембрана на основе фторополимера Ф-42. Исследовано влияние концентрации формовочного раствора и технологических факторов процесса электроформования на её пористую структуру. Показано, что увеличение вязкости формовочного раствора приводит к увеличению размера пор получаемой мембраны. Изучен процесс ионизации кислорода в макете свинцово-кислотного аккумулятора с двухслойным сепаратором на основе стекловолоконной матрицы и полимерной мембраны на основе фторопласта Ф-42.

Ключевые слова: полимерная мембрана, сепаратор, электроформование, пористая структура, ионизация кислорода, герметизированный свинцово-кислотный аккумулятор.

DOI: 10.18500/1608-4039-2016-16-1-17-23

INFLUENCE POROUS STRUCTURE OF THE POLYMER MEMBRANE BASED ON FLUOROPOLYMER F-42 ON THE PROCESS OF OXYGEN IONIZATION IN THE MOCK-UP OF LEAD-ACID BATTERIES

A. A. Sapisheva, M. M. Burashnikova ✉, V. S. Shalaeva, D. A. Toporishheva, I. A. Kazarinov

*Saratov State University
83, Astrakhanskaya str., Saratov, 410012, Russia*

✉ E-mail: burashnikova_mm@mail.ru

Received 28.12.15

Polymer membrane based on fluoropolymer F-42 was obtained by the method of electrospinning. The effect of the concentration of spinning solution and technological factors electrospinning process to its porous structure. It has been shown that increasing the spinning solution viscosity leads to an increase in pore size of the membrane obtained. Studied oxygen ionization process in the layout of the lead-acid battery separator with a two-layer based on glass fiber and polymer matrix membranes based on PTFE F-42.

Key words: polymer membrane separator, electrospinning, porous structure, oxygen ionization, valve-regulated lead-acid battery.

DOI: 10.18500/1608-4039-2016-16-1-17-23

ВВЕДЕНИЕ

Одной из основных задач при совершенствовании герметизированных свинцово-кислотных аккумуляторов (ГСКА) является направленный выбор сепарационных материалов, обеспечивающих создание единого межэлектродного пространства, позволяющего эффективно управлять газодиффузионным потоком. Сепаратор является ключевым компонентом в ГСКА, поскольку он должен обеспечивать лёгкий доступ электролита к активному веществу положительных и отрицательных пластин, а также свободное перемещение кислорода от положительной пластины к отрицательной при заряде. Свойства сепарационного материала во многом определяют срок службы и ёмкостные характеристики ГСКА.

В настоящее время в качестве сепараторов в ГСКА широко применяются абсорбтивно-стеклянные матрицы (АСМ) [1]. Однако их эксплуатационные характеристики не отвечают полностью всем требованиям, предъявляемым к сепараторам ГСКА. Поэтому поиск модифицированных или новых материалов сепараторов для герметичных свинцово-кислотных аккумуляторов весьма актуален.

Одним из способов модифицирования АСМ-сепараторов с целью управления транспортом кислорода и улучшения компрессионных свойств сепаратора является использование многослойных сепараторов АСМ-мембранный «сэндвич» с полимерной мембраной из поливинилхлорида [2]. АСМ состоит из 100% тонких стекловолокон, а несжимаемая полимерная мембрана – из смеси поливинилхлорида и 5–

10 мас. % частично экстрагированного кремнезёма (чтобы увеличить размер пор и пористость). Слой АСМ контактирует с каждым электродом, а мембрана расположена между двумя слоями АСМ. Такой многослойный сепаратор обеспечивает лучшую циклируемость батареи [3].

В [1] предлагается использовать АСМ-сепараторы, изготовленные из смеси стекловолокон и ~10 мас. % полимерных волокон. По сравнению с традиционными АСМ-сепараторами эти так называемые «гибридные сепараторы» показывали улучшенный предел прочности и в 2–5 раз более высокую прочность к пробою. Кроме того, полимерные волокна (например, из полиэтилена, полипропилена, полиэфира или двухкомпонентных полимеров) имеют гидрофобные участки, которые позволяют использовать процесс «заполни и слей», в котором батареи заполняются кислотой и после формирования избыточная кислота сливается. Гидрофобные участки позволяют кислороду «проходить» к отрицательной пластине. В других патентах описываются АСМ, обработанные полимерными дисперсиями для улучшения механических свойств. Абсорбтивные стеклянные матрицы модифицировались путём нанесения на поверхность листа сепаратора полимерной эмульсии определённого состава и концентрации. Исследование АСМ- и модифицированных АСМ (МАСМ)-сепараторов методом электронной микроскопией показало, что полимерная эмульсия остаётся между волокнами сепаратора, преобразуя его в высокопористую «пластину» с определёнными свойствами поверхности. МАСМ-сепараторы показывают повышенный предел прочности по сравнению с немодифицированным. Также было установлено, что модификация сепаратора данным способом улучшает химическую и тепловую стойкость сепаратора в серной кислоте приблизительно на 13% [4–7].

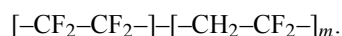
Целью данного исследования было получение полимерной мембраны на основе фторполимера Ф-42 и изучение влияния двухслойного сепаратора на основе абсорбтивно-стеклянной матрицы и полимерной мембраны на эффективность ионизации кислорода в макете свинцово-кислотного аккумулятора.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Объектом исследования являлся двухслойный сепаратор, состоящий из абсорбтивно-стеклянной матрицы торговой марки «Hollingsworth&Vose» (HV) (США) и полимерной мембраны.

Для получения полимерной мембраны использовался фторполимер двух марок – Ф-42Л и Ф-42В (производитель ООО «Галополимер» (Рос-

сия)). Ф-42 – сополимер тетрафторэтилена и фторвинилидена:



Выбор материала для полимерной мембраны обуславливается следующими свойствами полимера: гидрофобность, химическая и термическая стабильность.

Получение полимерной мембраны на основе фторполимера Ф-42 осуществляется методом бескапиллярного электроформования на установке NS LAB 200S. Получение полимерной мембраны на основе фторопласта основано на механизме образования волокон из раствора полимера под действием электростатического поля высокого напряжения между двумя электродами. Под действием высокого напряжения из тонкого слоя полимерного раствора, создающегося на поверхности струнного или цилиндрического электрода при его вращении в ванне с формовочным раствором, формируются многочисленные тонкие струи, которые движутся в направлении осадительного электрода. При этом по мере процесса испарения растворителя струи отверждаются, и образующиеся полимерные волокна беспорядочно осаждаются на подложке (вспомогательном материале), расположенной перед осадительным электродом, формируя слой нетканого материала. Толщина нетканого материала задаётся скоростью перемотки подложки с одного на другой валы, которые расположены в верхней части установки NS LAB 200S. Формование нетканого материала проводится как за один прогон подложки по поверхности опорной рамки, расположенной перед осадительным электродом, так и в процессе циклической перемотки подложки с одного на другой вал и обратно.

Электроформование осуществляли при фиксированных значениях напряжения 65 и 82 кВ при межэлектродном расстоянии 16 см. Формование волокон осуществляли с поверхности четырёхструнного электрода или цилиндрического электрода, частично погруженного в прядильный состав. Скорость вращения формовочного электрода составляла в зависимости от вязкости раствора 1–16 об./мин. Скорость движения подложки была минимальной (0,08 м/мин). В качестве подложки применяли спанбонд – полипропиленовый нетканый материал плотностью 60 г/м². Для получения образцов с достаточно высокой поверхностной плотностью каждый образец формовали в 5 и более прогонов.

Состав и свойства растворов полимеров для получения полимерной мембраны представлены в табл. 1. В качестве растворителя для приготовления растворов использовалась смесь диметилформамида (ДМФА) и бутилацетата (БА).

Таблица 1

Физико-химические характеристики формовочных растворов

Состав раствора	Концентрация полимера, мас. %	Динамическая вязкость, Па·с	Электропроводность, См·м ⁻¹
Ф-42Л Раст-ль ДМФА/БА 1:1, LiCl 0.2 г/л	6	0.143	0.0087
	7	0.248	0.0093
	8	0.418	0.0090
	10	1.67	0.0087
	12	3.49	0.0083
Ф-42Л Раст-ль ДМФА/БА 1:1, LiCl 0.4 г/л	8	0.418	0.015
Ф-42Л Раст-ль ДМФА/БА 1:2, LiCl 0.2 г/л	8	0.418	0.0052
Ф-42Л Раст-ль ДМФА/БА 2:1, LiCl 0.2 г/л	8	0.418	0.014
Ф-42В Раст-ль ДМФА/БА 1:1, LiCl 0.2 г/л	4	0.140	0.0088
	5	0.313	0.0088
	6	0.620	0.0096
	7	1.63	0.0089
	8	2.79	0.0086
	10	–	0.0089
	12	–	0.0090

Пористая структура полученных полимерных материалов изучалась методом вытеснения жидкости с помощью анализатора размера сквозных пор «Порометр 3G» («Quantachrome Instruments», США).

Изучение морфологии поверхности исследуемых полимерных материалов проводилось с использованием сканирующего электронного микроскопа MIRA 2 LMU, оснащённого системой энергодисперсионного микроанализа INCAEnergy. Разрешающая способность микроскопа достигает 5 нм, чувствительность детектора INCAEnergy – 133 эВ/10 мм². Исследования проводились в режиме высокого вакуума.

Для определения эффективности ионизации кислорода использовалась специальная методика, которая описана в работе [8]. Полимерная мембрана помещалась между положительным диоксидно-свинцовым электродом и АСМ-сепаратором.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Одной из важнейших характеристик сепарационных материалов, используемых в герметизированных свинцово-кислотных аккумуляторах, является их пористая структура. Для эффективного поглощения кислорода в аккумуляторе необходимо, чтобы пористая структура сепаратора была согласована с пористой структурой рабочих электродов. При оптимальном соотношении структуры пор сепаратора и электродов формируется единая газожидкост-

ная сеть в межэлектродном зазоре, обеспечивающая фильтрационный механизм переноса газа к поверхности электрода. В этом случае избыточное давление в межэлектродном зазоре (в порах сепаратора) больше капиллярного давления в порах электрода, в результате газ вытесняет из определённых пор электрода электролит и происходит частичное заполнение этих пор газом. Даже 5–10%-ное газонаполнение рабочих электродов приводит к увеличению скорости ионизации кислорода [9].

Для сформированных рабочих электродов 80% пористости активного материала обусловлено порами диаметром порядка 1 мкм. Поэтому основной размер пор полимерной мембраны должен быть не менее 1 мкм, а некоторая доля пор должна даже быть более 15 мкм [10].

Одним из основных факторов, который влияет на процесс электроформования волокнистых материалов, а следовательно, и на их пористую структуру, является концентрация полимера в формовочном растворе и напряжение процесса электроформования. Поэтому было изучено влияние этих факторов на пористую структуру получаемой полимерной мембраны.

На рис. 1 представлены электронные микрофотографии поверхности полученных образцов волокнистых материалов на основе полимера Ф-42Л (а) и Ф-42В (б), полученные из растворов с 8% концентрацией. Видно, что мембрана Ф-42В имеет значительно больший диаметр волокон. Это связано с тем,

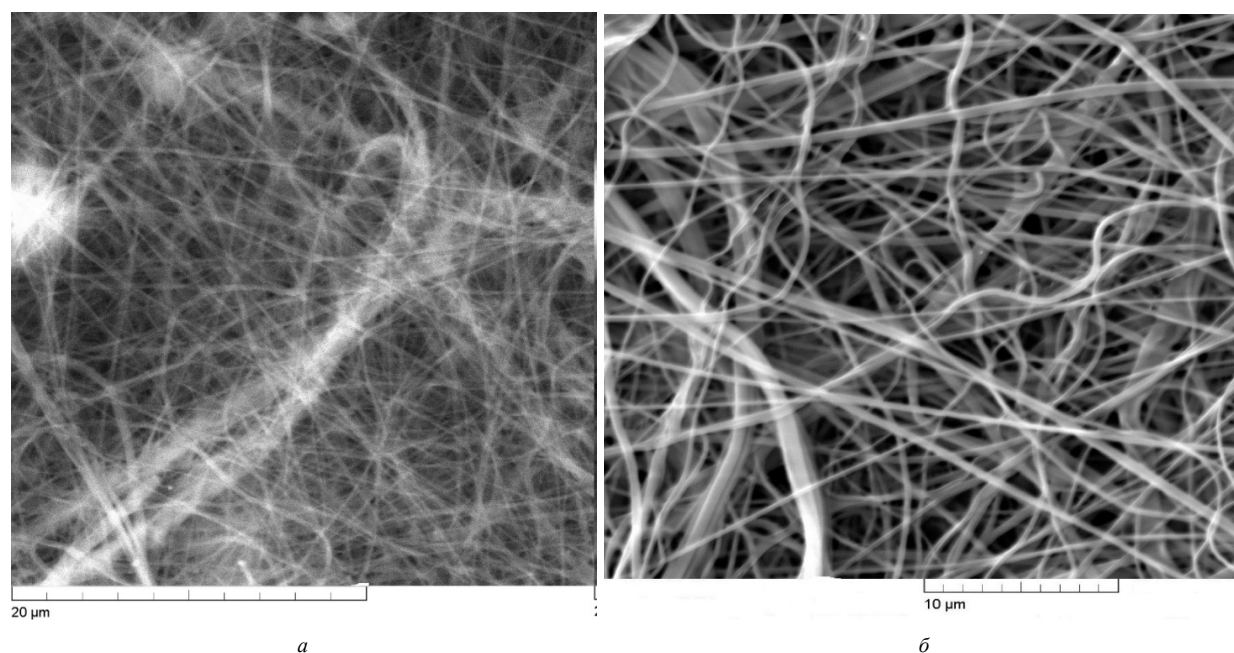


Рис. 1. Электронные микрофотографии полимерной мембраны на основе Ф-42Л (а), Ф-42В (б). Концентрация раствора 8 мас. %. Увеличение 10кx

что формовочный раствор имел более высокое значение вязкости (см. табл. 1).

Различие в диаметрах волокон позволяет формировать пористую структуру с определённым размером пор.

В табл. 2 представлены результаты исследований по влиянию свойств раствора полимера и технологических факторов электроформования на пористую структуру полимерной мембраны, а на рис. 2 и 3 показаны в качестве примера

Таблица 2

Влияние свойств раствора полимера и технологических факторов электроформования на пористую структуру полимерной мембраны

№ обр. полимер. мембраны	Состав раствора	С, мас.%	Вязкость раствора, Па·с	Тип электрода	Скорость вращения электрода, об·мин ⁻¹	Напряжение, кВ	Поверхностная плотность, г·см ⁻²	Число пор на см ²	Диаметр пор, мкм		
									min	среднее	max
1	Ф-42Л Раст-ль ДМФА/ БА 1:1, LiCl 0.2 г/л	6	0.1428	Цилиндр	1	82	7.7	5·10 ⁷	0.76	0.80	0.89
2		6	0.1428	Струна	16	82	9,1	1·10 ⁹	0,19	0,49	0.54
3		8	0.4180	Цилиндр	1	82	13.1	6·10 ⁸	0.43	0.84	0.89
4		8	0.4180	Струна	4	82	15.6	2·10 ⁸	0.69	0.84	0.95
5		8	0.4180	Струна	16	82	26.8	4·10 ⁹	0.44	0.66	0.72
6		10	1.671	Цилиндр	10	82	8.80	3·10 ⁷	1.1	1.2	1.3
7		12	3.490	Цилиндр	10	82	9.72	6·10 ⁶	1.7	2.0	2.3
8	Ф-42Л ДМФА/БА 1:1, LiCl 0.4г/л	8	0.418	Цилиндр	10	82	17,5	4·10 ⁸	0.29	0.78	0.99
9	Ф-42Л ДМФА/БА 1:2, LiCl 0.2 г/л	8	0.418	Цилиндр	10	82	–	4·10 ⁸	0.29	1.1	1.2
10	Ф-42В Раст-ль ДМФА/ БА 1:1, LiCl 0.2 г/л	6	0.620	Цилиндр	4	65	11.2	1·10 ⁹	0.22	0.64	0.72
11		6	0.620	Цилиндр	4	82	26.8	1·10 ⁹	0.43	0.53	0.59
12		7	1.635	Цилиндр	4	65	28.0	1·10 ⁸	0.47	0.74	0.93
13		7	1.635	Цилиндр	4	82	31.0	1·10 ⁸	0.61	0.64	0.78
14		8	2.786	Цилиндр	4	65	20.9	1·10 ⁸	1.2	1.3	1.4
15		8	2.786	Цилиндр	4	82	23.9	6·10 ⁶	1.5	1.7	2.2

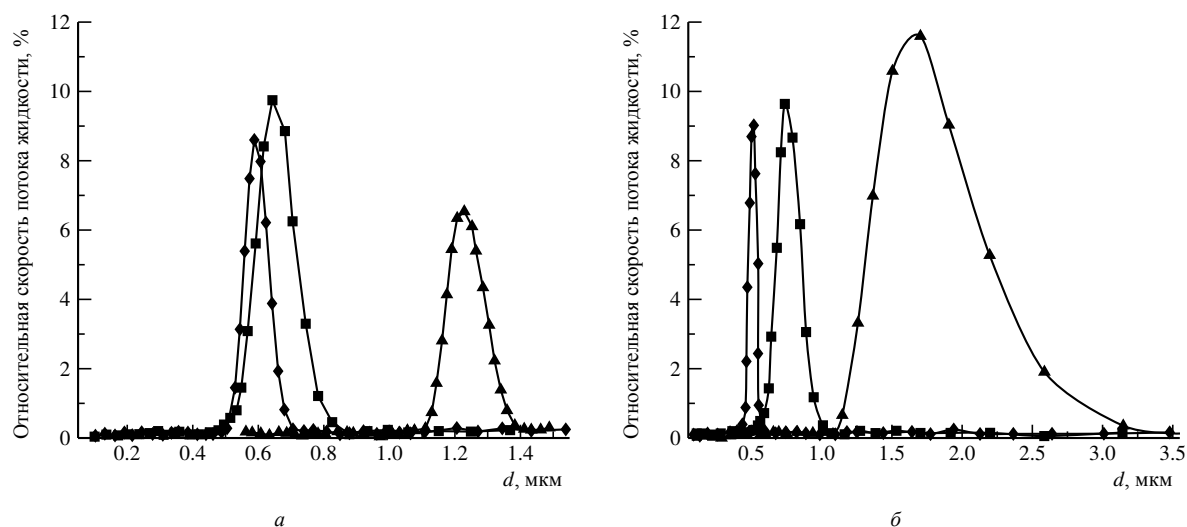


Рис. 2. Дифференциальные кривые распределения пор по радиусам волокнистых материалов на основе Ф-42В, полученных при напряжении процесса электроформования 65 кВ (а) и 82 кВ (б) при различных концентрациях формовочного раствора, мас.%. 6 (♦), 7 (■), 8 (▲)

дифференциальные кривые распределения пор по радиусам некоторых образцов исследуемых волокнистых материалов, полученных из растворов полимеров Ф-42В и Ф-42Л.

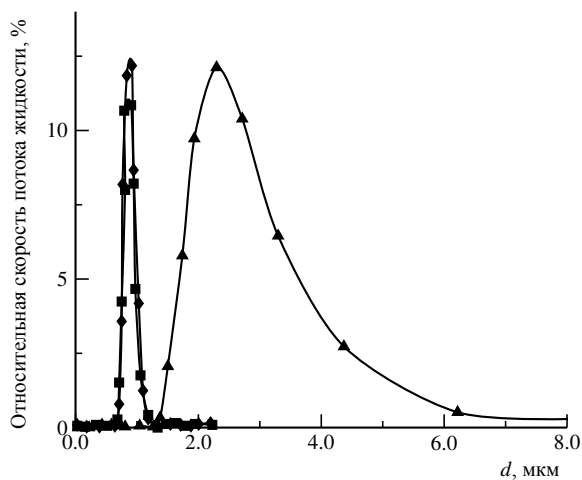


Рис. 3. Дифференциальные кривые распределения пор по радиусам волокнистых материалов на основе Ф-42Л, полученных при напряжении процесса электроформования 82 кВ при различных концентрациях формовочного раствора, мас.%. 6 (♦), 8 (■), 12 (▲)

Из представленных данных видно, что в большей степени на размер пор полимерной мембраны оказывает влияние вязкость формовочного раствора. При электроформовании из растворов с вязкостью от 0.14 до 1.6 Па·с, как в случае полимера Ф-42Л, так и в случае Ф-42В, формируются мембраны, близкие по пористой структуре, и основной размер пор приходится на размер менее 1 мкм. При электроформовании из раствора с вязкостью 2.8 Па·с (8 мас.%, Ф-42В) и вязкостью 3.5 Па·с (12 мас.%, Ф-42Л) были

получены полимерные мембраны с более крупным размером пор в диапазоне от 1.5 до 2.5–3 мкм.

Таким образом, для получения мембраны с необходимым размером пор следует использовать формовочные растворы с вязкостью не менее 2.5 Па·с. Увеличение вязкости раствора приводит к увеличению диаметра волокна, что в свою очередь повышает размер пор получаемого материала.

Тип электрода на размер пор полимерной мембраны влияет в меньшей степени, однако необходимо отметить, что использование цилиндрического электрода предпочтительнее.

Влияние напряжения процесса электроформования на размер пор получаемого волокнистого материала представлено на рис. 4.

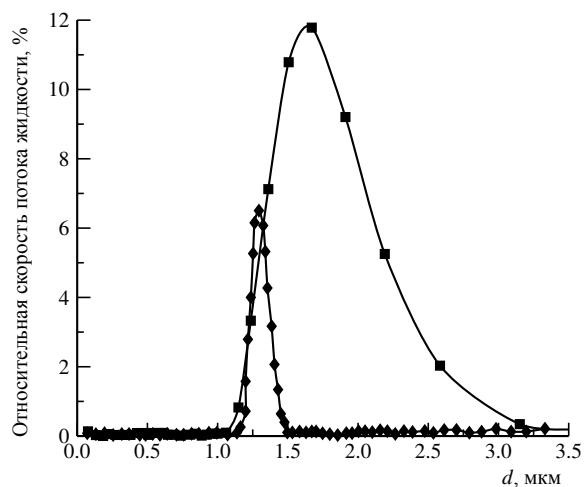


Рис. 4. Дифференциальные кривые распределения пор по радиусам волокнистых материалов на основе Ф-42В для концентрации 8 мас.%. Напряжение процесса электроформования, кВ: 65 (♦), 82 (■)

Видно, что увеличение напряжения процесса электроформования приводит к увеличению размера пор.

Скорость реакции электрохимического восстановления кислорода ($I_{\text{полг}}$) определялась потенциостатическим методом по изменению тока катодной поляризации заряженного свинцового электрода при подаче в систему газообразного кислорода. Скорость выделения кислорода ($I_{\text{выд}}$) в межэлектродный зазор задавалась гальваностатическим включением генерирующего кислород диоксидосвинцового электрода. Типичная потенциостатическая кривая восстановления кислорода, полученная в макетах герметичных свинцово-кислотных аккумуляторов с использованием исследуемых двухслойных сепарационных материалов, приведена на рис. 5.

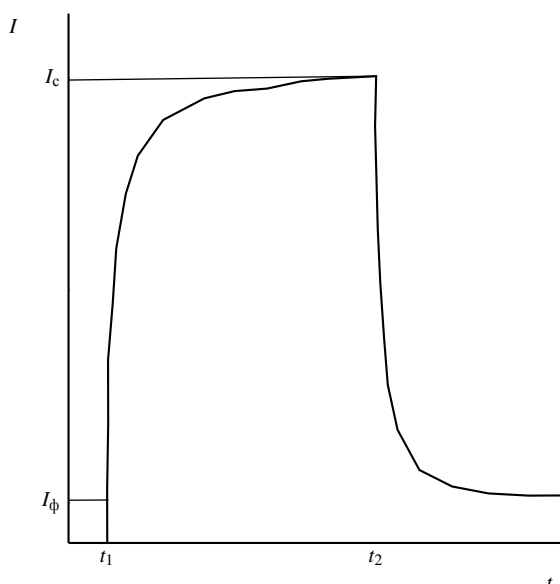


Рис. 5. Изменение катодного тока на пористом свинцовом электроде при подаче кислорода в систему «сепаратор–электрод»: t_1 – начало выделения кислорода; t_2 – момент отключения гальваностатической цепи выделения кислорода; $I_{\text{ф}}$ – ток фона; I_c – стационарный ток, который устанавливается на свинцовом электроде

Эффективность ионизации кислорода оценивалась как отношение тока восстановления кислорода ($I_{\text{полг}}$) на свинцовом электроде в потенциостатических условиях к току выделения кислорода ($I_{\text{выд}}$), который подаётся в систему сепаратор – электрод.

Данные по эффективности ионизации кислорода на прямом ходе первого опыта при увеличении тока выделения кислорода при использовании двухслойного сепаратора АСМ/полимерная мембрана представлены в табл. 3.

Из представленных данных видно, что эффективность ионизации кислорода в макете СКА с ис-

пользованием двухслойного сепаратора АСМ/полимерная мембрана на основе фторполимера Ф-42 увеличивается по сравнению с АСМ-сепаратором в том случае, если полимерная мембрана имеет размер пор не менее 1.5–2.5 мкм. В этом случае эффективность ионизации кислорода достигает 60%.

Таблица 3

Эффективность ионизации кислорода на прямом ходе первого опыта при увеличении тока выделения кислорода при давлении поджима электродного блока 10 кПа (первое значение эффективности ионизации соответствует наименьшему току выделения кислорода, второе – наибольшему)

Вариант сепаратора	Эффективность ионизации кислорода, %
АСМ-сепаратор (без полимерной мембраны)	52–45
АСМ + мембрана №1	52–49
АСМ + мембрана №2	50–39
АСМ + мембрана №3	50–44
АСМ + мембрана №4	50–36
АСМ + мембрана №5	48–38
АСМ + мембрана №10	42–47
АСМ + мембрана №11	40–33
АСМ + мембрана №12	50–44
АСМ + мембрана №15	60–54

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Исследовано влияние концентрации формовочного раствора на основе фторполимеров Ф-42Л и Ф-42В и напряжения процесса электроформования на размер пор полимерной мембраны. Получено, что к увеличению размера пор приводит увеличение концентрации раствора полимера Ф-42В до 8 мас.%, а полимера Ф-42Л до 12 мас.%. Увеличение напряжения процесса электроформования также приводит к увеличению размера пор.

2. Изучена эффективность ионизации кислорода в макете свинцово-кислотного аккумулятора с использованием двухслойного сепаратора на основе стекловолоконной матрицы и полимерной мембраны. Установлено, что наиболее высокие значения эффективности ионизации кислорода в макете СКА наблюдались при использовании мембраны на основе ФП-42В, полученной при следующих условиях: концентрация формовочного раствора 8 мас.%, напряжение процесса электроформования 82 кВ, скорость вращения электрода 4 об./мин (электрод – цилиндр).

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России в сфере научной деятельности (государственное задание № 4.1212.2014/К).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Valve-regulated Lead-Acid Batteries / eds. D. A. J. Rand, P. T. Moseley, J. Garche, C. D. Parker, ELSEVIER, 2004.
2. Oldham France, Amer-Sil, Hollingsworth & Vose, University of Kassel, BE97-408S Task 1(a), 3 Months Periodic Progress Report, 10 August 1988, Advanced Lead-Acid Battery Consortium, Research Triangle Park, NC, USA, 1998.
3. Oldham France, Amer-Sil, Hollingsworth & Vose, University of Kassel, BE97-4085 Task 1(a), Periodic Progress Report Six Months, 22 August 2000, Advanced Lead-Acid Battery Consortium, Research Triangle Park, NC, USA, 2000
4. Valve-regulated lead-acid cells and batteries and separators used in such cells and batteries: Intern. Pat. Application (PCT) WO 99 , 01902 / Pavlov D., Ruevski S. I., Naidenov V. B., Mircheva V. V., Petkova G. A., Dimitrov M. K., Rogachev T. V., Cherneva-Vasileva M. H. 1997.
5. Pavlov D., Naidenov V, Raevski S., Mircheva V., Cherneva M. New modified AGM separator and its influence on the performance of VRAL batteries // *J. Power Sources*. 2003. Vol. 113. P. 209–227.
6. Naidenov V., Pavlov D., Cherneva M. Three-layered absorptive glass mat separator with membrane for application in valve-regulated lead-acid batteries // *J. Power Sources*. 2009. Vol. 192. P. 730–735.
7. Gas recombinant battery separator: Pat. 5928811 USA : H01M2/16 / Khavari M. 27.07.99.
8. Бурашникова М. М., Денисова Т. С., Захаревич А. М., Казаринов И. А. Структурные характеристики абсорбтивно-стеклянных сепараторов и их влияние на эффективность ионизации кислорода в макетах свинцово-кислотных аккумуляторов // *Электротехн. энергетика*. 2012. Т. 12, № 3. С.117–123.
9. Хомская Е. А., Казаринов И. А., Семькин А. В., Горбачева Н. Ф. Макрокинетика газовых циклов в герметичных аккумуляторах. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 2008.
10. Burashnikova M. M., Kazarinov I. A., Khramkova T. S., Shmakov S. L. Pressure influence on the structural characteristics of modified AGM separators: A standard contact porosimetry study // *J. Power Sources*. 2015. Vol. 291. P. 1–13.

REFERENCES

1. *Valve-regulated Lead-Acid Batteries*. Eds. D. A. J. Rand, P. T. Moseley, J. Garche, C. D. Parker, ELSEVIER, 2004.
2. Oldham France, Amer-Sil, Hollingsworth & Vose, University of Kassel, BE97-408S Task 1(a), 3 Months Periodic Progress Report, 10 August 1988, Advanced Lead-Acid Battery Consortium, Research Triangle Park, NC, USA, 1998
3. Oldham France, Amer-Sil, Hollingsworth & Vose, University of Kassel, BE97-4085 Task 1(a), Periodic Progress Report Six Months, 22 August 2000, Advanced Lead-Acid Battery Consortium, Research Triangle Park, NC, USA, 2000
4. *Valve-regulated lead-acid cells and batteries and separators used in such cells and batteries*. Intern. Patent Application (PCT) WO 99, 01902 / Pavlov D., Ruevski S. I., Naidenov V. B., Mircheva V. V., Petkova G. A., Dimitrov M. K., Rogachev T. V., Cherneva-Vasileva M. H. 1997.
5. Pavlov D., Naidenov V, Raevski S., Mircheva V., Cherneva M. New modified AGM separator and its influence on the performance of VRAL batteries. *J. Power Sources*. 2003, vol. 113, pp. 209–227.
6. Naidenov V., Pavlov D., Cherneva M. Three-layered absorptive glass mat separator with membrane for application in valve-regulated lead-acid batteries. *J. Power Sources*. 2009, vol. 192, pp. 730–735.
7. *Gas recombinant battery separator*. Pat. 5928811 USA, H01M2/16. Publ. M. Khavari. 27.07.99.
8. Burashnikova M.M., Denisova T.S., Zakharevich A.M., Kazarinov I. A. Structural Characteristics of Absorbent Glass Mat Separators and their Influence on Oxygen Ionization Rate in Models of Lead-Acid Accumulators. [Strukturnye harakteristiki absorbtivno-stekljannyh separatorov i ih vlijanie na jeffektivnost' ionizacii kisloroda v maketah svincovo-kislotnyh akkumuljatorov]. *Elektrokhimicheskaya Energetika [Electrochemical energetics]*, 2002, vol. 2, pp. 27–34 (In Russian).
9. Homskaja E. A., Kazarinov I. A., Semykin A. V., Gorbacheva N. F. [*Макрокинетика газовых циклов в герметичных аккумуляторах*]. Saratov, Izd-vo Sarat. un-ta, 2008 (in Russian).
10. Burashnikova M.M., Kazarinov I.A., Khramkova T. S., Shmakov S. L. Pressure influence on the structural characteristics of modified AGM separators: A standard contact porosimetry study. *J. Power Sources*, 2015, vol. 291, pp. 1–13.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Сапишева Аня Айдаровна – аспирант, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского». Служебный тел.: 8452-51-64-13, e-mail: anya.sapisheva@yandex.ru

Бурашникова Марина Михайловна – канд. хим. наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского». Служебный тел.: 8452-51-64-13, e-mail: burashnikova_mm@mail.ru

Шалаева Виктория Сергеевна – магистрант, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского». Служебный тел.: 8452-51-64-13, e-mail: vika.iwannikowa2015@yandex.ru

Топорищева Дарья Александровна – студентка, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского». Служебный тел.: 8452-51-64-13, e-mail: daga.95@mail.ru

Казаринов Иван Алексеевич – д-р хим. наук, профессор, заведующий кафедрой физической химии, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского». Служебный тел.: 8452-51-64-13, e-mail: kazarinovIA@mail.ru