

УДК 541.136

## ВЛИЯНИЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ АБСОРБТИВНО-СТЕКЛЯННЫХ МАТРИЧНЫХ СЕПАРАТОРОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИОНИЗАЦИИ ВОДОРОДА В МАКЕТАХ СВИНЦОВО-КИСЛОТНЫХ АККУМУЛЯТОРОВ

М. М. Бурашникова ✉, Т. С. Храмова, В. С. Иванникова, И. А. Казаринов

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

✉ E-mail: burashnikova\_mm@mail.ru

Поступила в редакцию 13.11.14 г.

Исследовано влияние пористой структуры абсорбтивно-стеклянных матриц «Hollingsworth&Vose» (толщиной 2.8 мм) и «Bernard Dumas» (толщиной 3.0 мм), модифицированных методом пропитки полимерными эмульсиями на основе поливинилиденфторида, сополимера поливинилпирролидона со стиролом (PVS) и политетрафторэтилена (Tf), на эффективность ионизации водорода в макетах герметичного свинцово-кислотного аккумулятора. Использование модифицированных полимерными эмульсиями сепараторов из абсорбтивно-стеклянных матриц позволяет повысить скорость ионизации водорода на диоксидно-свинцовом электроде.

*Ключевые слова:* свинцово-кислотный аккумулятор, модифицированная абсорбтивно-стеклянная матрица, сепаратор, пористая структура, газо-жидкостный поток, ионизация водорода.

## THE EFFECT OF MODIFIED ABSORBITIVE GLASS MAT SEPARATORS ON THE EFFICIENCY OF HYDROGEN IONIZATION IN LEAD-ACID BATTERY MOCK-UPS

M. M. Burashnikova ✉, T. S. Khrankova, V. S. Ivannikova, I. A. Kazarinov

*Saratov State University named after N. G. Chernyshevsky  
83? Astrakhanskaya st., Saratov, 410012, Russia*

✉ E-mail: burashnikova\_mm@mail.ru

Received 13.11.14

The influence of porous structure of the absorptive glass mats manufactured by «Hollingsworth&Vose» (thickness 2.8 mm) and BernardDumas» (thickness 3.0 mm), modified by impregnation with polymeric emulsions on the basis of polyvinylidene fluoride (KYNAR), polyvinylpyrrolidone copolymer with styrene (PVS) and polytetrafluoroethylene (Tf), on the efficiency of ionization of hydrogen in lead-acid battery mock-ups. The use of polymer modified emulsions separators from absorbtive glass mat allows to increase the ionization rate of hydrogen on lead-dioxide electrode.

*Key words:* lead-acid battery, modified absorptive glass mat, separator, porous structure, gas-liquid flow, hydrogen ionization.

### ВВЕДЕНИЕ

Создание герметичных свинцово-кислотных аккумуляторов (СКА) невозможно без рационального выбора методов, снижающих газовыделение и увеличивающих скорость поглощения газов. Наиболее эффективным способом реализации газового цикла (совокупности процессов выделения и поглощения газов в аккумуляторе) может быть ионизация газов на рабочих электродах при оптимальном управлении газожидкостным потоком в процессе заряда [1]. Эффективное управление газожидкостным потоком обеспечивается путём создания единого межэлектродного пространства, что во многом определяется выбором сепарационного материала. В качестве сепараторов в герметизированных свинцово-кислотных аккумуляторах наиболее широко применяются абсорбтивно-стеклянные матрицы (АСМ).

Различные свойства и характеристики АСМ сепараторов являлись предметом изучения многих исследователей [2–7], а в [8–9] сформулированы основные требования к сепараторам. Однако ни один из современных материалов не отвечает этим требованиям полностью. Очевидно, что поиск модифицированных или новых материалов сепараторов для герметизированных СКА весьма актуален. Одним из способов модификации АСМ сепараторов является обработка абсорбтивно-стеклянных матриц полимерными эмульсиями с целью повышения механической прочности и оптимизации гидрофобно-гидрофильных свойств сепараторов [10–12].

Целью нашего исследования явилось изучение влияния модификации абсорбтивно-стеклянных матричных сепараторов полимерными эмульсиями на основе поливинилиденфторида, сополимера поливи-

нилпирролидона со стиролом, политетрафторэтилена на их пористую структуру и эффективность ионизации водорода в макете свинцово-кислотного аккумулятора при различных давлениях поджима электродного блока.

#### МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Объектами исследования являлись образцы сепараторов торговой марки «Hollingsworth&Vose» (HV) (толщиной 2.8 мм) и «Bernard Dumas» (BD) (толщиной 3.0 мм), модифицированные путём пропитки абсорбтивно-стеклянных матриц полимерными эмульсиями на основе поливинилиденфторида (KYNAR) с концентрацией 0.35 и 0.90 об. %, сополимера поливинилпирролидона со стиролом (PVS) с концентрацией 0.25 и 0.62 об. %, политетрафторэтилена (Tf) с концентрацией 0.31 и 0.78 об. %. На шероховатую сторону сепаратора наносилась полимерная эмульсия с меньшей концентрацией, на гладкую сторону – с большей концентрацией (таблица).

Объекты исследования

Вид обработки		Название образца	
Без обработки		HV	BD
KYNAR	Двухсторонняя пропитка	HV (KYNAR-0.35-0.90)	BD (KYNAR-0.35-0.90)
		HV (PVS-0.25-0.62)	BD (PVS-0.25-0.62)
PVS	Двухсторонняя пропитка	HV (PVS-0.25-0.62)	BD (PVS-0.25-0.62)
		HV (Tf-0.31-0.78)	BD (Tf-0.31-0.78)
Tf	Двухсторонняя пропитка	HV (Tf-0.31-0.78)	BD (Tf-0.31-0.78)

Общая пористость сепараторов определялась методом гидростатического взвешивания [13]. Структурные характеристики образцов определялись методом контактной эталонной порометрии в испарительном варианте [14].

Изучение процесса поглощения водорода на положительном электроде проводилось в ячейке, схема которой приведена на рис. 1. Рабочая электрохимическая ячейка представляла собой макет герметичного свинцово-кислотного аккумулятора – трёх-электродный блок с плотной сборкой, состоящий из одного газогенерирующего свинцового электрода 1 и двух газопоглощающих диоксидосвинцовых электродов 3, между которыми размещался слой сепарационного материала 2. В качестве газогенерирующего и газопоглощающих электродов использовались формированные пластины свинцовых и диоксидосвинцовых электродов свинцово-кислотных батарей 12 САМ-40 производства ОАО «НИИСТА» (г. Подольск, Московской обл.). Блок электродов располагался между двумя пластинами из винипласта с давлением поджима 10 и 50 кПа. Электролитом служил водный раствор  $H_2SO_4$  ( $d = 1.28$  г/см<sup>3</sup>). В качестве

вспомогательных использовались свинцовые 4 (для потенциостатической цепи) и диоксидосвинцовые 6 (для гальваностатической цепи) электроды большой ёмкости во избежание нежелательного дополнительного газовыделения.

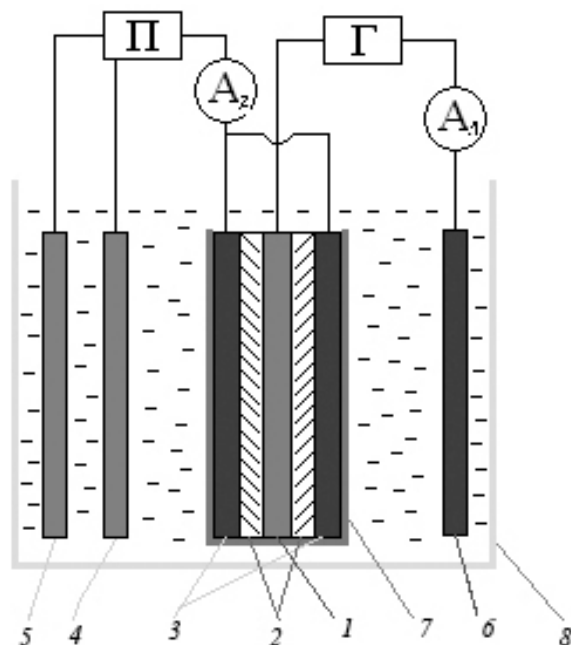


Рис.1. Схема ячейки для исследования реакции ионизации (поглощения) водорода на диоксидосвинцовых электродах макета СКА: Г – гальваностат; П – потенциостат; А<sub>1</sub>, А<sub>2</sub> – амперметры; 1 – свинцовый газогенерирующий электрод ( $S = 1.5 \times 3.5$  см<sup>2</sup>); 2 – исследуемый сепарационный материал; 3 – диоксидосвинцовые электроды для поглощения газа ( $S = 4 \times 4.5$  см<sup>2</sup>; 2 шт.); 4 – вспомогательные электроды для потенциостатической цепи ( $S = 2 \times 7$  см<sup>2</sup>; 2 шт.); 5 – электрод сравнения для потенциостатической цепи ( $S = 3 \times 4$  см<sup>2</sup>); 6 – вспомогательный электрод для гальваностатической цепи ( $S = 2 \times 7$  см<sup>2</sup>; 4 шт.); 7 – винипластовая ячейка, которая зажималась болтами до давления 10 кПа и 50 кПа; 8 – ячейка с электролитом

Скорость реакции электрохимического восстановления водорода определялась потенциостатическим методом по изменению тока катодной поляризации заряженного электрода при подаче в систему газообразного водорода. Скорость выделения газа в межэлектродный зазор задавалась гальваностатическим включением генерирующего водород свинцового электрода 1 (сначала ток увеличивали от 50 до 700 мА – прямой ход, затем уменьшали до 50 мА – обратный ход). Все электроды разделялись исследуемыми сепараторами 2. Поглощающие газ электроды 3 включались в независимую потенциостатическую цепь. Подачей тока в «гальваностатическую цепь» в систему «сепаратор – электрод» с заданной скоростью подавался водород. При этом ток потенциостатической поляризации диоксидосвинцового электрода возрастал на величину, соответствующую скорости окисления водорода.

Изучение процесса поглощения водорода проводилось при потенциалах диоксидносвинцового электрода 2.1, 2.2, 2.3 В относительно свинцового электрода сравнения.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Все исследуемые образцы сепарационных материалов являются высокопористыми объектами, и их общая пористость, определённая методом гидростатического взвешивания, составила не менее 94%.

Одним из важнейших факторов, влияющих на транспорт водорода в герметизированном СКА, является пористая структура сепаратора. При циклировании аккумулятора происходит изменение объёма электродных пластин, и сепаратор подвергается сжатию, что оказывает сильное влияние на его пористую структуру. Поэтому важным является определение структурных характеристик сепараторов при различных давлениях поджима электродного блока.

Исследования пористой структуры сепараторов, пропитанных различными полимерными эмульсиями, проводились методом контактной эталонной порометрии при давлениях поджима 10 и 50 кПа.

Интегральные структурные кривые для исходных и модифицированных образцов сепараторов «Hollingsworth & Vose» приведены на рис 2.

Из полученных результатов следует, что для образца HV, который не подвергался обработке полимерными эмульсиями, основные диапазоны приходятся на поры радиусом 5–15 мкм. Для всех образцов сепараторов подвергшихся обработке происходит перераспределение пор по радиусам. Происходит увеличение доли пор радиусом 0.05–5 мкм, снижение доли пор с радиусами 5–15 мкм, а также появление значительного количества пор радиусом 15–20 мкм.

При давлении поджима 50 кПа для необработанного сепаратора HV наблюдается снижение доли пор радиусом 10–15 мкм и увеличение доли пор с радиусом 0.05–5 мкм. На пористую структуру образцов сепаратора HV, обработанных полимерными эмульсиями, увеличение давления поджима оказало меньшее воздействие: незначительно уменьшилась доля пор с радиусом 10–15 мкм, соответственно увеличилась доля пор с радиусами 0.05–5 и 5–10 мкм. В то же время, количество пор с радиусом 15–20 мкм осталось практически на прежнем уровне.

Необходимо отметить, что при давлении 50 кПа наблюдается снижение общей пористости всех образцов, и её величина для модифицирован-

ных сепараторов составляет порядка 70%, а для немодифицированных – менее 60%.

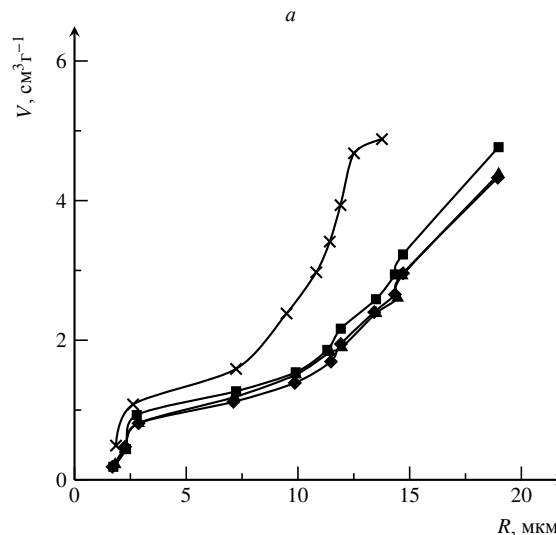
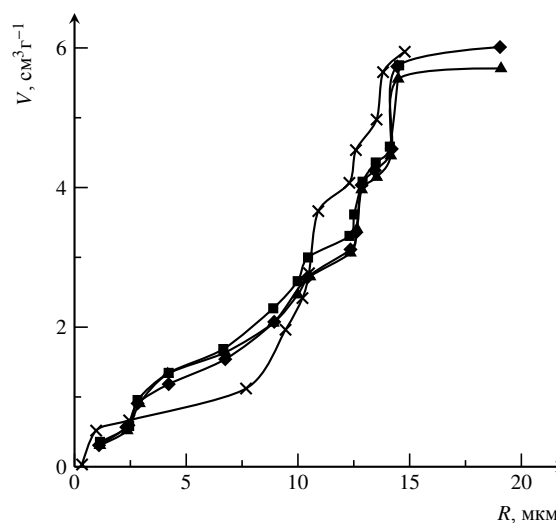


Рис. 2. Интегральные кривые зависимости объёма пор (влаго-содержания) от радиуса пор для сепараторов: × – HV; ■ – HV(KYNAR-0.35-0.90); ♦ – HV (PVS-0.25-0.62); ▲ – HV (Tf-0.31-0.78) при давлениях 10 кПа (а) и 50 кПа (б)

Интегральные структурные кривые для исходных и модифицированных образцов сепараторов «Bernard Dumas» приведены на рис 3.

Образец сепаратора «Bernard Dumas» без обработки полимерными эмульсиями имеет схожие структурные характеристики с необработанным сепаратором «Hollingsworth & Vose». Обработка данного образца полимерными эмульсиями приводит к увеличению пор в диапазоне 0.05–5 мкм приблизительно в два раза, а также увеличению доли пор с радиусом 10–15 мкм и значительному снижению доли пор в диапазоне 5–10 мкм, при этом формируются поры с радиусом 15–20 мкм.

При увеличении давления до 50 кПа для всех модифицированных образцов наблюдается увеличение доли пор радиусом 15–20 мкм и снижение – радиусом 10–15 мкм. Для образца с полимерной обработкой тефлоновой эмульсией незначительно увеличивается доля пор в диапазоне 0.05–5 мкм.

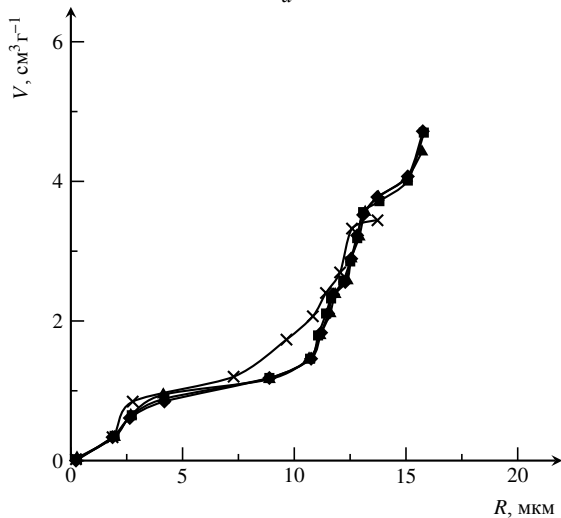
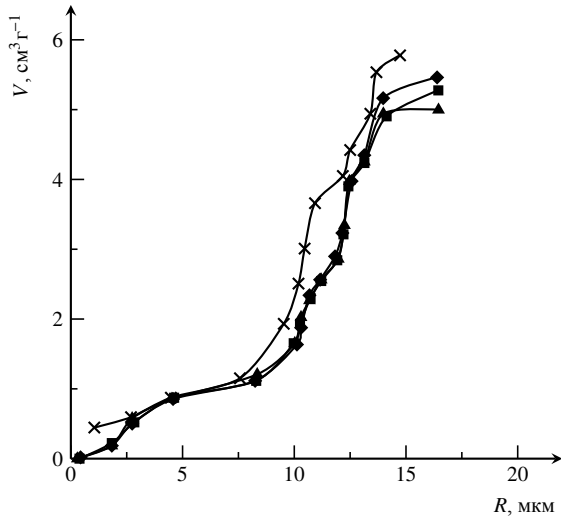


Рис. 3. Интегральные кривые зависимости объема пор (влагодержания) от радиуса пор для сепараторов: × – BD; ■ – BD (KYNAR-0.35–0.90); ♦ – BD (PVS-0.25–0.62); ▲ – BD (Tf-0.31–0.7827) при давлениях 10 кПа (а) и 50 кПа (б)

Таким образом, и в данном случае при использовании сепараторов марки «Bernard Dumas» обработка полимерными эмульсиями приводит к увеличению доли крупных пор с радиусами 10–15 и 15–20 мкм.

Необходимо отметить, что влияние всех исследуемых полимерных эмульсий на пористую структуру сепараторов идентично.

Таким образом, обработка сепараторов полимерными эмульсиями на основе поливинилиденфто-

рида, сополимера поливинилпирролидона со стиролом, политетрафторэтилена оказала значительное влияние на их пористую структуру.

Появление крупных пор с радиусом 15–20 мкм у обработанных полимерными эмульсиями сепараторов может быть связано с расклинивающим влиянием полимерной эмульсии на расположение стеклянных волокон в матрице. Высыхание полимерной эмульсии закрепляет стеклянные волокна АСМ и препятствует их возвращению в исходное состояние, придавая сепараторам определённую жёсткость. При давлении поджима 50 кПа для немодифицированных сепараторов снижается доля крупных пор с радиусом 10–15 мкм. Напротив, пористая структура модифицированных сепараторов практически не изменяется при этом давлении.

#### Эффективность ионизации водорода в макете СКА

При заряде СКА на отрицательном свинцовом электроде происходит выделение водорода. Его выделение с разной интенсивностью происходит почти с самого начала заряда. Таким образом, возникает задача организации водородного цикла для обеспечения нормальной работы герметизированного СКА с использованием для этой цели токообразующего диоксидно-свинцового электрода.

Изучение скорости ионизации водорода на положительном электроде СКА проводилось при сжатии электродного блока давлением 10 и 50 кПа.

На рис 4 представлены данные по эффективности процесса ионизации водорода, определённые как отношение тока поглощения к току выделения водорода ( $I_{\text{погл}}/I_{\text{выд}}$ ), %, на положительном электроде макета свинцово-кислотного аккумулятора с использованием сепараторов «Hollingsworth&Vose» с двухсторонней пропиткой полимерными эмульсиями на прямом ходе (увеличение тока) 1-го опыта при различных скоростях их выделения ( $I_{\text{выд}}$ ) на свинцовом электроде при давлениях поджима электродного блока 10 и 50 кПа и различных потенциалах.

Из полученных результатов следует, что при давлении поджима электродного блока 10 кПа эффективность ионизации водорода в макете СКА при использовании немодифицированного сепаратора «Hollingsworth&Vose» находится в пределах 20–38, 14–45, 12–60% при потенциалах диоксидно-свинцового электрода 2.1, 2.2, 2.3 В, соответственно. Наибольшая эффективность ионизации водорода при давлении 10 кПа наблюдается при использовании сепаратора, обработанного эмульсией политетрафторэтилена. Причём эта закономерность прояв-

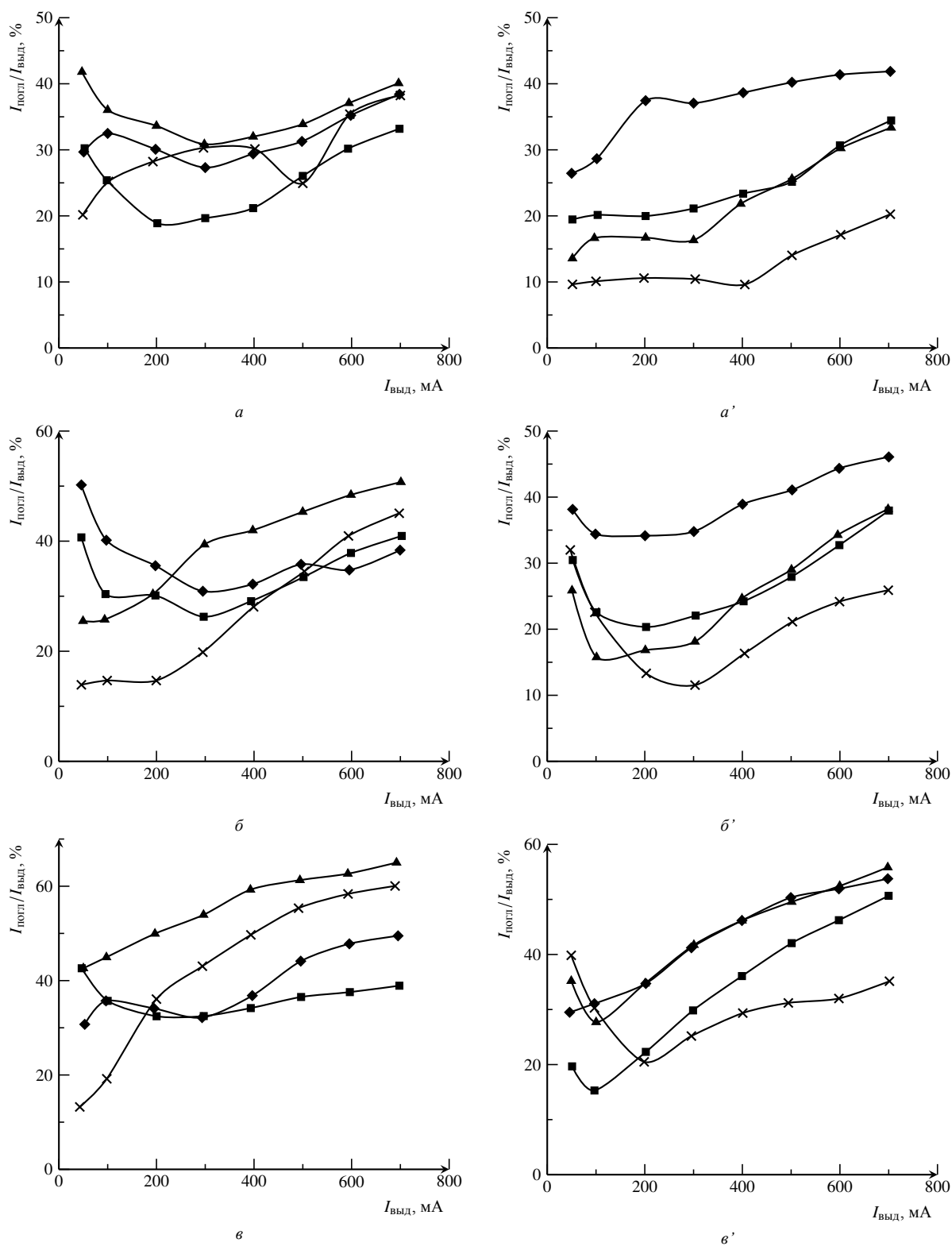


Рис 4. Эффективность поглощения водорода на положительном электроде при различных потенциалах:  $E = 2.1 \text{ В}$  (*a*; *a'*),  $E = 2.2 \text{ В}$  (*б*; *б'*),  $E = 2.3 \text{ В}$  (*в*; *в'*), и при различных давлениях поджата электродного блока: 10 кПа (*a*, *б*, *в*) и 50 кПа (*a'*, *б'*, *в'*); × – HV; ■ – HV(KYNAR-0.35-0.90); ◆ – HV(PVS-0.25-0.62); ▲ – HV(Tf-0.31-0.78)

ляется при всех потенциалах диоксидносвинцового электрода, и пределы величин эффективности ионизации водорода составляют 40–42, 26–50 и 42–65% соответственно.

При давлении поджима электродного блока 50 кПа наблюдается снижение величины ионизации водорода для всех исследуемых образцов. Максимальные значения эффективности ионизации для немодифицированного сепаратора составляют 20, 26, 35% при потенциалах диоксидносвинцового электрода 2.1, 2.2, 2.3 В соответственно. Однако обработка сепарационного материала «Hollingsworth & Vose» всеми исследуемыми полимерными эмульсиями приводит к повышению эффективности ионизации водорода. Максимальные значения эффективности при исследуемых потенциалах для сепаратора HV(KYNAR) составляют 34, 38, 51%, HV(PVS – 41, 46, 54%), HV(Tf – 33, 39, 56%). Увеличение эффективности ионизации водорода в этом случае связана с пористой структурой сепараторов. Как было показано методом КЭП обработка сепараторов полимерными эмульсиями приводит к формированию крупных пор, причём при увеличении давления в отличие от немодифицированных сепараторов доля крупных пор не снижается. Наличие крупных пор облегчает процесс переноса водорода по механизму газовой диффузии.

На рис 5 представлены данные по эффективности процесса ионизации водорода в макете свинцово-кислотного аккумулятора с использованием сепараторов «Bernard Dumas» с двухсторонней пропиткой полимерными эмульсиями на прямом ходе (увеличение тока) 1-го опыта при различных скоростях их выделения ( $I$ ) на свинцовом электроде при давлениях поджима электродного блока 10 и 50 кПа и различных потенциалах.

Из представленных данных видно, что при давлении поджима электродного блока 10 кПа при всех исследуемых потенциалах диоксидносвинцового электрода наиболее высокие значения эффективности ионизации водорода наблюдались для немодифицированного сепаратора «Bernard Dumas». Максимальные значения эффективности процесса ионизации составляли 35, 46, 63% для потенциалов диоксидносвинцового электрода 2.1, 2.2, 2.3 В соответственно. Однако при давлении 50 кПа обработка сепаратора «Bernard Dumas» полимерными эмульсиями так же, как и в случае с модифицированными сепараторами на основе «Hollingsworth & Vose», повышает эффективность процесса ионизации водорода. Очевидно, что при таком давлении происходит необходимое уплотнение межэлектродного зазора, создаётся определённое давление и вместе с тем

не снижается количество крупных пор в модифицированных сепараторах, которые необходимы для транспортировки газа.

## ВЫВОДЫ

1. Методом контактной эталонной порометрии проведён сравнительный анализ структурных характеристик сепараторов торговых марок «Hollingsworth & Vose» (толщиной 2.8 мм) и «BernardDumas» (толщиной 3.0 мм) и модифицированных сепараторов на их основе, и изучено влияние пористой структуры на эффективность водородного цикла в макетах свинцово-кислотных аккумуляторов при различных давлениях поджима электродного блока. Модификация сепараторов проводилась путём пропитки сепарационных материалов полимерными эмульсиями на основе поливинилиденфторида, сополимера поливинилпирролидона со стиролом, политетрафторэтилена с различными концентрациями.

2. Показано, что обработка сепараторов полимерными эмульсиями приводит к перераспределению размеров пор по радиусам. Исследование пористой структуры сепараторов методом КЭП при давлении поджима электродного блока 10 кПа показало, что для модифицированных сепараторов наблюдается увеличение доли пор с радиусом менее 5 мкм, уменьшается доля пор с радиусом 5–15 мкм, вместе с тем в сепараторах формируются поры с радиусом 15–20 мкм. Увеличение давления поджима в электродном блоке до 50 кПа приводит к снижению доли пор радиусом 10–15 мкм и увеличению доли пор с радиусом 0.05–5 мкм для не модифицированных сепараторов и незначительно изменяет пористую структуру модифицированных сепараторов.

3. Приведённые результаты показывают, что водород, выделяющийся при заряде герметизированного СКА, может окисляться на его положительных электродах из диоксида свинца. Скорость процесса определяется как условиями подвода газа (пористой структурой сепаратора и давлением в электродном блоке), так и состоянием поверхности электрода (величиной потенциала). Обработка исследуемых сепарационных материалов всеми исследуемыми полимерными эмульсиями приводит к повышению эффективности ионизации водорода, особенно при давлении поджима электродного блока 50 кПа. Полученные результаты свидетельствуют о том, что повышение потенциала диоксидносвинцового электрода от 2.1 до 2.3 В приводит к повышению эффективности процесса поглощения водорода.

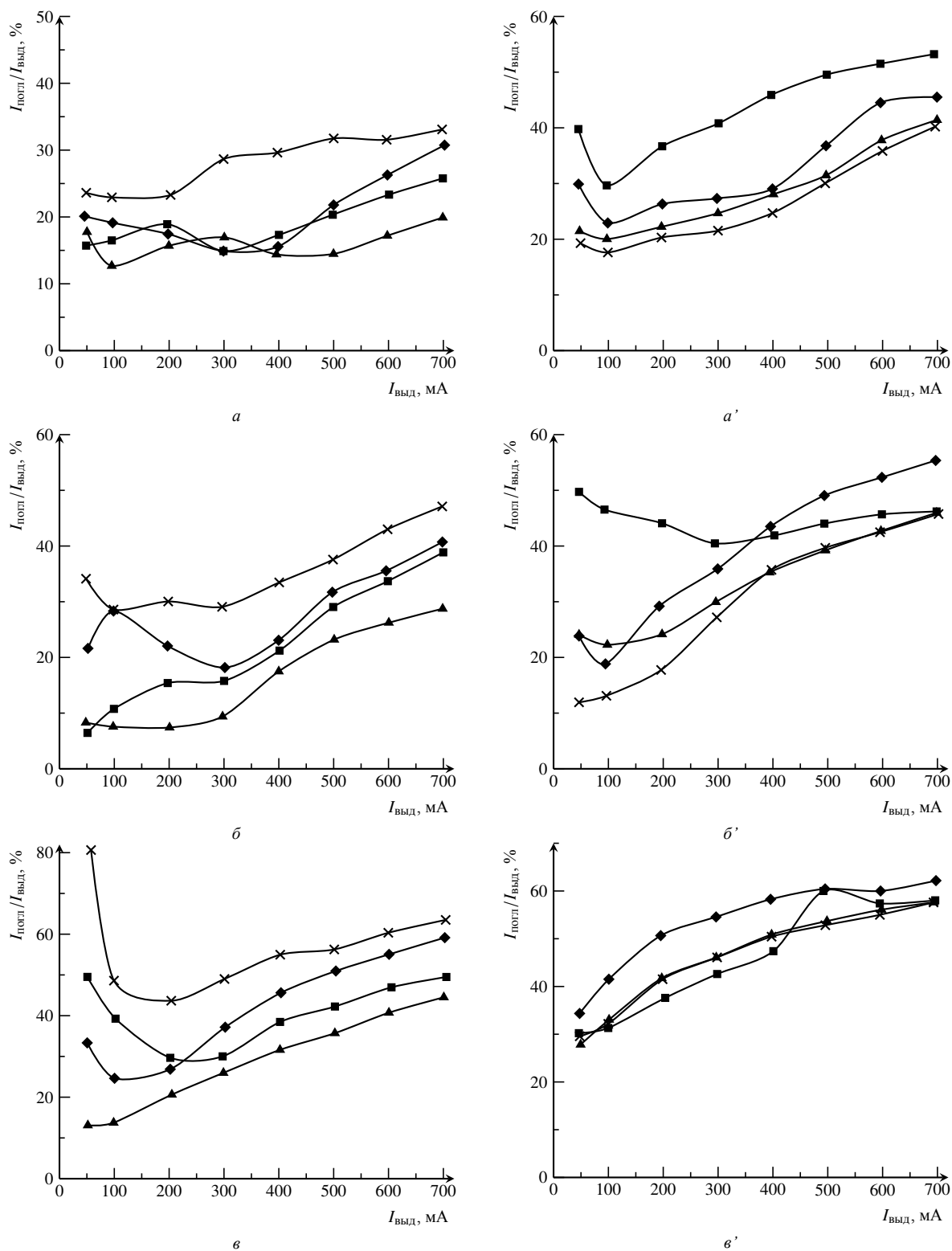


Рис 5. Эффективность поглощения водорода на положительном электроде при различных потенциалах:  $E = 2.1 \text{ В}$  (*a*; *a'*),  $E = 2.2 \text{ В}$  (*b*; *b'*),  $E = 2.3 \text{ В}$  (*e*; *e'*), и при различных давлениях поджата электродного блока: 10 кПа (*a*, *b*, *e*) и 50 кПа (*a'*, *b'*, *e'*); × – BD; ■ – BDK(YNAR-0.35-0.90); ♦ – BD(PVS-0.25-0.62); ▲ – BD(Tf-0.31-0.78)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хомская Е. А., Казаринов И. А., Семыкин А. В., Горбачева Н. Ф. Макрокинетика газовых циклов в герметичных аккумуляторах. Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 2008. 132 с.
2. Gigova A. Investigation of the porous structure of battery separators using various porometric methods // *J. Power Sources*. 2006. Vol. 158. P. 1054–1061.
3. Zguris G. C. A broad look at separator material technology for valve-regulated lead/acid batteries // *J. Power Sources*. 1998. Vol. 73. P. 60–64.
4. Ball R. J., Evans R., Stevens R. Characterisation of separator papers for use in valve regulated lead/acid batteries // *J. Power Sources*. 2002. Vol. 104. P. 208–220.
5. Jena A. K., Gupta K. M. In-plane compression porometry of battery separators // *J. Power Sources*. 1999. Vol. 80. P. 46–52.
6. Brilmyer G. H. Impact of separator design on battery performance in traction applications // *J. Power Sources*. 1999. Vol. 78. P. 68–72.
7. Ferreira A. L. Investigation into oxygen permeability of different microporous separators // *Proceedings of the LABAT'96 Conference*, Varna, Bulgaria, 1996. P. 142 (abstract № 41).
8. McGregor K., Ozgum H., Urban A. J., Zguris G. C. Essential characteristics for separators in valve-regulated lead-acid batteries // *J. Power Sources*. 2002. Vol. 111. P. 288–303.
9. Kazarinov I. A., Burashnikova M. M., Khomskaya E. A., Kadnikova N. V. A universal way for gas-liquid flow control in the design of hermetical lead-acid batteries // *J. Power Sources*. 2012. Vol. 209. P. 289–294.
10. Pavlov D., Ruvski S. I., Naidenov V. B., Mircheva V. V., Petkova G. A., Dimitrov M. K., Rogachev T. V., Cherneva-Vasileva M. H. Valve-regulated lead-acid cells and batteries and separators used in such cells and batteries. International Patent Application (PCT) WO 99, 01902. 1997.
11. Pavlov D., Naidenov V., Raevski S., Mircheva V., Cherneva M. New modified AGM separator and its influence on the performance of VRLA batteries // *J. Power Sources*. 2003. Vol. 113. P. 209–227.
12. 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.
13. Иоффе И. И., Решецов В. А., Добровторский А. М. Расчётные методы в прогнозировании активности гетерогенных катализаторов. Л.: Химия. Ленингр. от-ние, 1977. 204 с.
14. Вольфович Ю. М., Багоцкий В. С., Сосенкин В. Е., Школьников Е. И. Методы эталонной порометрии и возможные области их применения в электрохимии // *Электрохимия*. 1980. Т. 16, вып. 8. С.1620–1653.

REFERENCES

1. Khomskaya E. A., Kazarinov I. A., Semykin A. V., Gorbachyova N. F. *Makrokinetika gazovyh ciklov v germetichnyh akkumuljatorah*. [Gas cycle macrokinetics in hermetical batteries]. Saratov, Saratov University Press Publ., 2008. 132 p. (in Russian).
2. Gigova A. Investigation of the porous structure of battery separators using various porometric methods. *J. Power Sources*, 2006, vol.158, pp. 1054–1061.
3. Zguris G. C. A broad look at separator material technology for valve-regulated lead/acid batteries. *J. Power Sources*, 1998, vol. 73, pp. 60–64.
4. Ball R. J., Evans R., Stevens R. Characterisation of separator papers for use in valve regulated lead/acid batteries. *J. Power Sources*, 2002, vol. 104, pp. 208–220.
5. Jena A. K., Gupta K. M. In-plane compression porometry of battery separators. *J. Power Sources*, 1999, vol. 80, pp. 46–52.
6. Brilmyer G. H. Impact of separator design on battery performance in traction applications. *J. Power Sources*, 1999, vol. 78, pp. 68–72.
7. Ferreira A. L. Investigation into oxygen permeability of different microporous separators. *Proceedings of the LABAT'96 Conference*, Varna, Bulgaria, 1996, p. 142 (abstract no. 41).
8. McGregor K., Ozgum H., Urban A. J., Zguris G. C. Essential characteristics for separators in valve-regulated lead-acid batteries. *J. Power Sources*, 2002, vol. 111, pp. 288–303.
9. Kazarinov I. A., Burashnikova M. M., Khomskaya E. A., Kadnikova N. V. A universal way for gas-liquid flow control in the design of hermetical lead-acid batteries. *J. Power Sources*, 2012, vol. 209, pp. 289–294.
10. Pavlov D., Ruvski S. I., Naidenov V. B., Mircheva V. V., Petkova G. A., Dimitrov M. K., Rogachev T. V., Cherneva-Vasileva M. H. *Valve-regulated lead-acid cells and batteries and separators used in such cells and batteries*. International Patent Application (PCT) WO 99, 01902 (1997).
11. Pavlov D., Naidenov V., Raevski S., Mircheva V., Cherneva M. New modified AGM separator and its influence on the performance of VRLA batteries. *J. Power Sources*, 2003, vol. 113, pp. 209–227.
12. 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.
13. Ioffe I. I., Reshetov V. A., Dobrovorsky A. M. *Raschetnye metody v prognozirovanii aktivnosti geterogennyh katalizatorov* [Calculation methods in forecasting of the activity of heterogeneous catalysts] Leningrad, Khimiya Publ., 1977. (in Russian).
14. Volfkovich Yu. M., Bagockij V. S., Sosenkin V. E., Shkolnikov E. I. *Metody jetalonoj porometrii i vozmozhnye oblasti ih primeneniya v jelektrohimii* [Standard porosimetry methods and their possible application fields in electrochemistry]. *Elektrokhimiya*, 1980, vol. 16, pp. 1620–1653 (in Russian)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

- Бурашникова Марина Михайловна** – канд. хим. наук, доцент, Институт химии, Саратовский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского. Служебный телефон: (8452)-5164-13, e-mail: burashnikova\_mm@mail.ru.
- Храмкова Татьяна Сергеевна** – аспирант, Институт химии, Саратовский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского. Служебный телефон: (8452)-5164-13, e-mail: tanaden1986@mail.ru.
- Иванникова Виктория Сергеевна** – студентка, Институт химии, Саратовский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского. Служебный телефон: (8452)-5164-13, e-mail: vika.iwannikova2015w@yandex.ru
- Казаринов Иван Алексеевич** – д-р хим. наук, профессор, заведующий кафедрой, Институт химии, Саратовский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского. Служебный телефон: (8452)-5164-13, e-mail: kazarinovia@mail.ru.