

УДК 541.136

## ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА АКТИВНОЙ МАССЫ ЭЛЕКТРОФОРЕТИЧЕСКИХ КАДМИЕВЫХ ЭЛЕКТРОДОВ

С. Б. Иванова<sup>1</sup> ✉, Л. Е. Апаликова<sup>1</sup>, А. Р. Жускеев<sup>1</sup>, Ю. И. Обьедков<sup>1</sup>,  
Н. В. Кадникова<sup>2</sup>, И. А. Казаринов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ЗАО «НИИХИТ-2», 410015, Саратов, Орджоникидзе, 11 а

<sup>2</sup>Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского»  
410012, Россия, Саратов, Астраханская, 83

✉ E-mail: niihit@san.ru

Поступила в редакцию 19.09.16 г.

Разработаны методы входного и текущего контроля компонентов активных масс электрофоретических кадмиевых электродов с целью повышения стабильности разрядных характеристик никель-кадмиевых аккумуляторов серии НКМ.

Изучены физико-химические свойства различных образцов оксида сурьмы (III) и влияние их на электрохимические характеристики кадмиевых электродов:

- зависимость растворимости оксида сурьмы (III) в воде;
- влияние предварительной ультразвуковой обработки (оксида сурьмы (III), суспензии) на растворимость оксида сурьмы (III);
- изучение степени гидратации оксида кадмия в электродах с разным соотношением гидроксида никеля (II) и оксида сурьмы (III);
- разрядные характеристики электрофоретических кадмиевых электродов с различным соотношением технологических добавок на формировочных циклах.

Показано, что предварительная ультразвуковая обработка водной суспензии оксида сурьмы (III) позволяет повысить концентрацию сурьмы в водной вытяжке и получать активную массу с низкой степенью гидратации оксида кадмия (14–30%), которая практически не зависит от количества технологических добавок.

Установлено, что на расформируемость кадмиевых электродов (их заряжаемость), величину разрядной ёмкости, стабильность разрядных характеристик, величину удельной поверхности основное влияние оказывает не столько степень гидратации оксида кадмия, а сколько активность вводимых активирующих добавок (гидроксида никеля (II)).

*Ключевые слова:* кадмиевый электрод, электрофорез, оксид кадмия, оксид сурьмы (III), гидроксид никеля (II), активирующие и технологические добавки, формировка электродов.

## OPTIMIZATION OF THE ACTIVE MASS COMPOSITION OF ELECTROPHORETIC CADMIUM ELECTRODES

S. B. Ivanova<sup>1</sup> ✉, L. E. Apalikova<sup>1</sup>, A. R. Zhuskeyev<sup>1</sup>, Yu. I. Ob'edkov<sup>1</sup>,  
N. V. Kadnikova<sup>2</sup>, I. A. Kazarinov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>NIIKhIT-2 Ltd.

11a, Ordzhonikidze Str., Saratov 410015, Russia

<sup>2</sup>Saratov State University

83, Astrakhanskaya Str., Saratov, 410012, Russia

✉ E-mail: niihit@san.ru

Received 19.09.16

The work is devoted to the development of methods for input and current monitoring of the active mass components of electrophoretic cadmium electrodes in order to improve the stability of the discharge characteristics of nickel-cadmium batteries of the NKM series.

Studying of the physicochemical properties of various samples of antimony (III) oxide and their influence on the electrochemical characteristics of cadmium electrodes:

- effect of the antimony (III) oxide solubility in water;
- influence of preliminary ultrasonic treatment of antimony (III) oxide and its suspension on the antimony (III) oxide solubility;
- studying of the hydration degree of cadmium oxide in the electrodes with various ratios of nickel (II) hydroxide and antimony (III) oxide;
- discharging characteristics of electrophoretic cadmium electrodes with various ratios of technological additives on the forming cycles.

It is shown that preliminary ultrasonic treatment of the aqueous suspension of antimony (III) oxide allows increasing the antimony concentration in the aqueous extract and obtaining an active mass with a lower hydration degree of cadmium oxide (14–30%), which is practically independent of the amount of technological additives.

It has been established that the chargeability of cadmium electrodes, their discharge capacitance, the discharge characteristics stability and the specific surface area are mainly affected by the activity of the introduced activating additives (nickel (II) hydroxide) rather than by the hydration degree of cadmium oxide.

*Key words:* cadmium electrode, electrophoresis, cadmium oxide, antimony (III) oxide, nickel (II) hydroxide, activating and technological additives, electrode formation.

DOI: 10.18500/1608-4039-2016-16-2-62-76

## ВВЕДЕНИЕ

Некоторые типы кадмиевых электродов щелочных аккумуляторов (ламельные, намазные, прессованные, плёночные, в том числе и электрофоретические) изготавливаются из оксида кадмия, который при погружении электродов в воду или в щелочной раствор гидратируется с образованием гидроксида кадмия [1]. Процесс гидратации зависит от многих факторов и приводит к образованию продуктов, различающихся по физико-химическим и электрохимическим свойствам [2]. В то же время от физико-химических свойств и стабильности образующихся продуктов существенно зависит эффективность процесса формирования кадмиевых электродов и, следовательно, удельные характеристики аккумуляторов.

Электрофоретическая технология изготовления кадмиевых электродов [3] предусматривает приготовление водной суспензии из оксида кадмия с введением в неё целого ряда специальных добавок: оксида сурьмы (III) – как антигидратационную и активирующую добавку, гидроксид никеля (II) – как наиболее эффективную активирующую добавку, натриевую соль карбоксиметилцеллюлозы – как поверхностно-активную добавку, обеспечивающую определённый заряд частиц оксида кадмия, осаждающихся электрофоретически на токопроводящую основу.

В последние годы существенно понизился уровень стандартизации физико-химических характеристик исходных компонентов активных масс кадмиевых электродов. Естественно, это приводит и к снижению разрядных характеристик никель-кадмиевых аккумуляторов с кадмиевыми электродами, изготовленными по электрофоретической технологии. Поэтому основной задачей настоящей работы явилась разработка дополнительных методов входного и текущего контроля компонентов активных масс элект-

рофоретических кадмиевых электродов с целью повышения стабильности разрядных характеристик никель-кадмиевых аккумуляторов серии НКМ.

## 1. ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектами исследования являлись образцы оксидов сурьмы (III) различных фирм производителей: образец 1 – оксид сурьмы (III), ТУ 6-09-3267-84;

образец 2 – оксид сурьмы (III), производство Китая;

образец 3 – оксид сурьмы (III), производство США;

образец 4 – оксид сурьмы (III), производство Бельгии.

Для изготовления кадмиевых электродов использовалась производственная партия оксида кадмия (ТУ 6-09-02-498-92), физико-химические свойства которого приведены в табл. 1.

В качестве активирующих добавок использовали производственный (ЗАО «НИИХИТ-2», Саратов, Россия) гидроксид никеля (II) (ГЗН) – паста.

В ходе работы проводились исследования степени гидратации оксида кадмия в активной массе производственных кадмиевых электродов, полученных по электрофоретической технологии (образцы I–VIII); изучались пористость активной массы электродов, величина удельной поверхности и электрохимические свойства (заряжаемость на первых циклах формирования).

Объектами исследования являлись также гидратированные образцы производственного оксида кадмия без добавки и с добавками ГЗН (пасты), оксида сурьмы (III) по следующей методике. К 2 г оксида кадмия добавляли нужное количество указанных выше добавок, затем смесь механически перемешивали шпателем, приливали 100 мл дистиллиро-

Таблица 1 / Table 1

Физико-химические свойства производственного образца оксида кадмия  
Physicochemical properties of a production sample of cadmium oxide

Образец оксида кадмия (ТУ 6-09-02-498-92)	$S_{уд.}, м^2/г$	Химический состав, %						
		Cd	Al	K	Pb	Hg	Cu	Si
	3.7	97.22	–	2.01	–	–	–	0.35

ванной воды. Процесс гидратации проводили в течение 2, 6 и 24 ч (одни сутки) при комнатной температуре и при постоянном перемешивании с помощью магнитной мешалки. После завершения процесса гидратации твёрдая фаза отделялась от жидкой фазы, промывалась дистиллированной водой и высушивалась в сушильном шкафу при температуре 50–60°C.

## 2. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОБРАЗЦОВ ОКСИДА СУРЬМЫ (III)

### 2.1. Химический состав исследуемых образцов оксида сурьмы(III)

В табл. 2 приведены физико-химические характеристики исследуемых образцов оксида сурьмы (III), из данных которой следует, что для них характерна очень низкая величина удельной поверхности (от 0.3 до 1.6 м<sup>2</sup>/г). По химическому составу все образцы (кроме произведённого в Китае) могут быть отнесены к квалификации «х.ч.». Основные микропримеси – свинец, кадмий, медь.

### 2.2. Дисперсный состав исследуемых образцов оксида сурьмы (III)

На рис. 1 приведены интегральные и дифференциальные кривые распределения частиц образцов исследуемых оксидов сурьмы (III) по размерам, полученные с помощью лазерного дифракционного анализатора размера частиц «SALD-2201» (SHIMADZU, Япония). В основном все исследу-

емые образцы характеризуются моодисперсной структурой: размер частиц изменяется в пределах от 0.5 до 1.0 мкм (образцы 2–4). В то же время для некоторых образцов на дифференциальных кривых наблюдается небольшой максимум в области 2–3 мкм. Особенно он чётко проявился для образца 1 (см. рис. 1).

### 2.3. Фазовый состав исследуемых образцов оксида сурьмы (III)

Рентгенофазовым анализом показано (рис. 2), что исследуемые образцы оксида сурьмы (III) являются чистой, хорошо окристаллизованной фазой Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Различия между образцами связаны в основном со степенью текстурированности кристаллической решётки.

### 2.4. Растворимость оксида сурьмы (III) в воде

Для определения растворимости оксида сурьмы в воде навеску оксида сурьмы массой 1 г помещали в колбу, заливали дистиллированной водой объёмом 100 мл и оставляли при постоянном перемешивании на 2, 6, 24 ч. Затем раствор отфильтровывали и определяли концентрацию сурьмы (III) с помощью рентгенофлуоресцентного спектрометра EDX-720 (SHIMADZU, Япония) методом калибровочных кривых.

Для построения калибровочной кривой использовался государственный стандартный образец (ГСО № 8402-2003 сурьма (III) 1 мг/см<sup>3</sup>, фон 3М HCl).

Таблица 2 / Table 2

Физико-химические свойства исследуемых образцов оксида сурьмы (III)  
Physicochemical properties of the used samples of antimony (III) oxide

Образец оксида сурьмы (III)	S <sub>уд</sub> <sup>*</sup> , м <sup>2</sup> /г (по БЭТ)	Химический состав**,%						
		Sb	Pb	Cd	Cu	K	P	Si
Образец 1 – Оксид сурьмы (III) ТУ 6–09–3267–84	1.6	99.65	0.22	–	0.13	–	–	–
Образец 2 – Оксид сурьмы (III) производства Китая	0.36	96.73	0.14	–	0.11	–	3.02	–
Образец 3 – Оксид сурьмы (III) производства США	0.54	99.57	0.17	0.14	0.12	–	–	–
Образец 4 – Оксид сурьмы (III) производства Бельгии	0.42	99.78	–	0.09	0.12	–	–	–

Примечание. \*Величина удельной поверхности образцов определялась по низкотемпературной адсорбции азота на быстродействующем анализаторе сорбции газов Quantachrome NOVA (США) (по методу БЭТ).

\*\*Химический состав образцов определялся на энергодисперсионном рентгеновском флуоресцентном спектрометре EDX-720 (SHIMADZU, Япония) методом фундаментальных параметров.

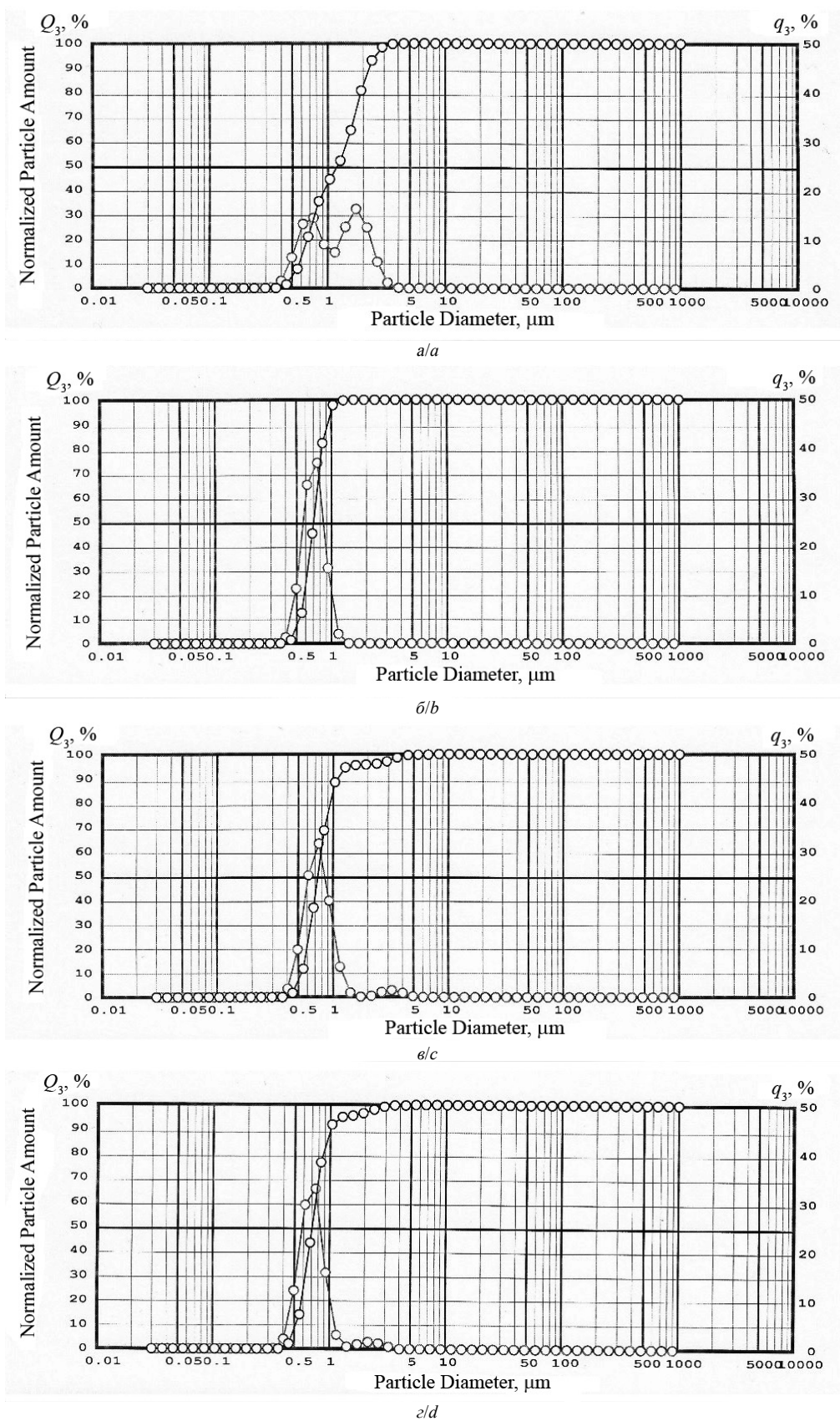


Рис. 1. Интегральные и дифференциальные кривые распределение частиц различных образцов оксида сурьмы по размерам: *a* – образец 1; *b* – образец 2; *c* – образец 3; *d* – образец 4

Fig. 1. Integral and differential particle size distribution curves of several samples of antimony (III) oxide: *a* – sample 1; *b* - sample 2; *c* – sample 3; *d* – sample 4

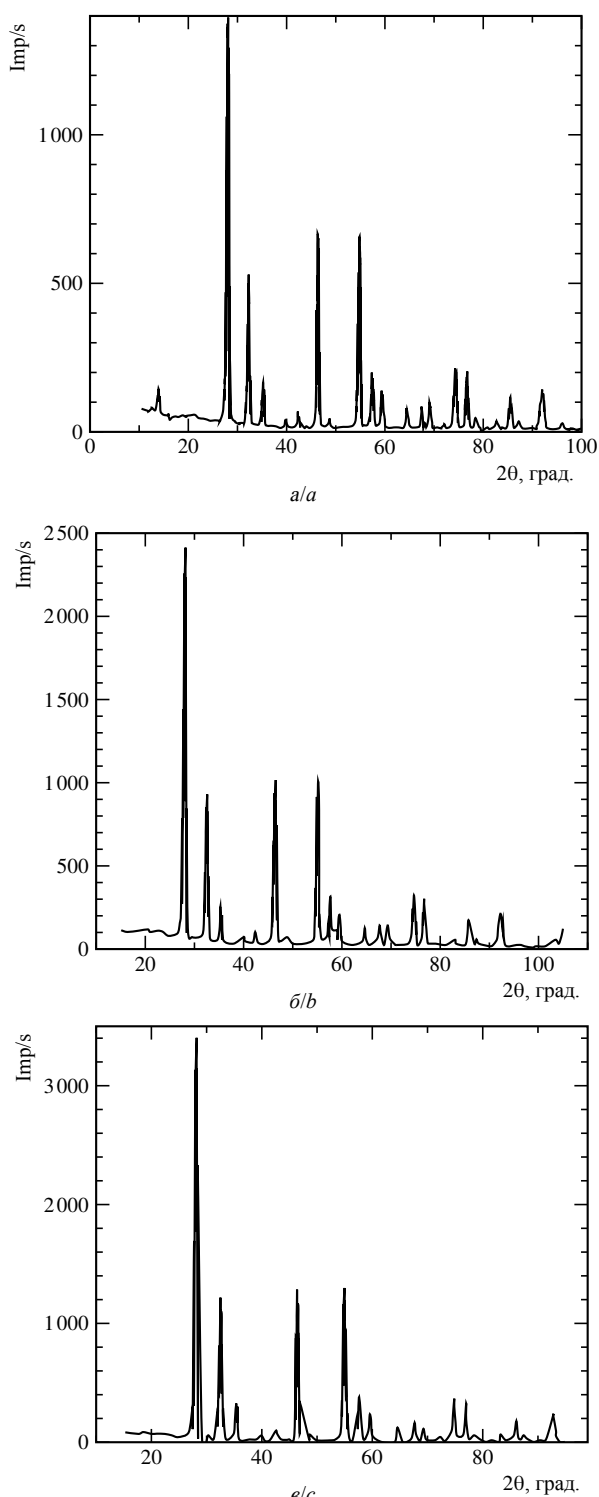


Рис. 2. Рентгеновские дифрактограммы исследуемых образцов оксида сурьмы (III): *a* – образец 1; *б* – образец 2; *в* – образец 3

Fig. 2. X-ray diffraction patterns of the antimony (III) oxide samples used: *a* – sample 1; *b* – sample 2; *c* – sample 3

#### 2.4.1. Влияние продолжительности процесса и pH

В табл. 3 приведены данные о растворимости образцов оксида сурьмы (III) в зависимости от про-

должительности пребывания оксида сурьмы (III) в перемешиваемой водной суспензии и от pH водной вытяжки (подщелачивание водной вытяжки осуществлялось добавлением щёлочи – гидроксида калия).

Из полученных данных следует, что растворимость образцов оксида сурьмы (III) в воде неоднозначно зависит от продолжительности его пребывания в водной суспензии: при малых временах главенствует кинетический фактор (скорость растворения), при длительных временах определяющим является скорость старения оксидной фазы. В результате наибольшую растворимость практически все образцы имеют при продолжительности пребывания оксида сурьмы (III) в водной суспензии в течение 6 часов (от 0.022 до 0.046 г/л).

Повышение pH водной вытяжки сначала приводит к некоторому повышению растворимости, но к меньшей её зависимости от продолжительности пребывания оксида сурьмы (III) в водной суспензии и к меньшим различиям между образцами оксидов. При этом следует отметить, что наибольшую растворимость исследуемые оксиды имеют при pH 8.0. Дальнейшее повышение щёлочности среды приводит к снижению растворимости оксида сурьмы, по-видимому, из-за образования труднорастворимых антимонитов калия [4].

#### 2.4.2. Влияние продолжительности ультразвуковой обработки

В табл. 4 приведены данные о влиянии продолжительности ультразвуковой обработки суспензии на растворимость оксида сурьмы (III) в воде. Из полученных результатов следует, что ультразвуковая обработка в течение 5 и более минут приводит к значительному повышению концентрации сурьмы в водной вытяжке (практически на порядок). В меньшей степени ультразвуковая обработка суспензии оказала влияние на растворимость образца 3 оксида сурьмы (III), произведённого в США.

#### 2.5. Влияние ультразвуковой обработки на степень гидратации оксида кадмия в присутствии различных технологических добавок

В предыдущем параграфе было показано, что ультразвуковая обработка водной суспензии оксида сурьмы (III) приводит к увеличению концентрации сурьмы в водной вытяжке. Поскольку механизм антигидратационного эффекта связан с адсорбционно-химическим взаимодействием растворимых продуктов сурьмы (III) с оксидом кадмия, а с повышением концентрации сурьмы (III) в воде должен усилиться

Оптимизация состава активной массы электрофоретических кадмиевых электродов

Таблица 3 / Table 3

Данные о растворимости исследуемых образцов оксида сурьмы (III) в зависимости от продолжительности пребывания оксида сурьмы (III) в перемешиваемой водной суспензии и от pH водной вытяжки

Solubility data of the antimony (III) oxide samples used as a function of the duration of antimony (III) oxide being in a stirred aqueous suspension and of the pH of the aqueous extract

Образец оксида сурьмы (III)	Растворимость оксида сурьмы (III) в дистиллированной воде, г/л		
	2 ч	6 ч	24 ч
pH 5.5 (дистиллированная вода)			
Образец 1	0.022 ± 0.003	0.029 ± 0.002	0.025 ± 0.001
Образец 2	0.024 ± 0.005	0.022 ± 0.001	0.27 ± 0.006
Образец 3	0.011 ± 0.001	0.030 ± 0.003	0.023 ± 0.002
Образец 4	0.028 ± 0.009	0.046 ± 0.002	0.036 ± 0.005
pH 6.5			
Образец 1	–	–	–
Образец 2	0.028 ± 0.004	0.025 ± 0.001	0.029 ± 0.002
Образец 3	0.022 ± 0.006	0.031 ± 0.004	–
Образец 4	0.024 ± 0.001	–	0.023 ± 0.005
pH 7.0			
Образец 1	0.019 ± 0.002	0.026 ± 0.002	0.021 ± 0.004
Образец 2	0.028 ± 0.004	–	0.033 ± 0.006
Образец 3	0.028 ± 0.006	–	0.034 ± 0.004
Образец 4	0.016 ± 0.002	0.019 ± 0.003	0.030 ± 0.003
pH 7.5			
Образец 1	–	–	–
Образец 2	0.029 ± 0.005	–	0.028 ± 0.003
Образец 3	0.024 ± 0.001	0.021 ± 0.001	0.023 ± 0.001
Образец 4	0.020 ± 0.001	0.019 ± 0.006	0.022 ± 0.005
pH 8.0			
Образец 1	0.045 ± 0.007	0.045 ± 0.005	0.038 ± 0.004
Образец 2	0.031 ± 0.001	0.018 ± 0.002	0.018 ± 0.004
Образец 3	0.027 ± 0.001	0.015 ± 0.002	0.025 ± 0.005
Образец 4	0.024 ± 0.004	0.035 ± 0.002	0.057 ± 0.004
pH 9.0			
Образец 1	0.031 ± 0.005	–	0.021 ± 0.004
Образец 2	–	0.034 ± 0.005	0.013 ± 0.003
Образец 3	0.011 ± 0.003	0.021 ± 0.002	0.011 ± 0.003
Образец 4	0.019 ± 0.005	0.029 ± 0.002	0.008 ± 0.001

Таблица 4 / Table 4

Данные о влиянии ультразвуковой обработки суспензии на растворимость образцов оксида сурьмы (III) в воде

Data on the influence of ultrasonic treatment of the suspension on the solubility of the antimony (III) oxide samples in water

Продолжительность ультразвукового воздействия, мин	Растворимость оксида сурьмы (III) в дистиллированной воде, г/л			
	Образец 1	Образец 2	Образец 3	Образец 4
pH 5.5				
1	–	0.077 ± 0.010	0.014 ± 0.002	0.072 ± 0.008
3	–	0.079 ± 0.006	0.030 ± 0.006	0.085 ± 0.002
5	–	0.34 ± 0.02	0.045 ± 0.009	0.089 ± 0.009
7	–	0.35 ± 0.03	0.051 ± 0.005	0.13 ± 0.01
14	0.14 ± 0.01	0.61 ± 0.04	0.040 ± 0.001	0.58 ± 0.07
pH 7.0				
7	–	0.32 ± 0.05	0.16 ± 0.02	0.12 ± 0.01

этот эффект [4], то имеет смысл проверить влияние ультразвуковой обработки на степень гидратации оксида кадмия в присутствии технологических добавок.

В табл. 5 приведены результаты исследований по влиянию продолжительности ультразвуковой обработки водной суспензии оксида сурьмы (III) разных партий на степень гидратации оксида кадмия в присутствии технологических добавок (оксида сурьмы (III) и гидроксида никеля (II)).

Как следует из данных, приведённых в табл. 5, проведение предварительной ультразвуковой обработки водной суспензии оксида сурьмы (III) в те-

чение 14 мин приводит к снижению степени гидратации оксида кадмия до 14–30% в зависимости от количества вводимых добавок (оксида сурьмы (III) и гидроксида никеля (II)). Следует также отметить, что предварительная ультразвуковая обработка приводит к стабилизации процесса гидратации оксида кадмия, к снижению зависимости этого процесса от партий оксида сурьмы (III).

Таким образом, проведённые исследования физико-химических свойств образцов оксида сурьмы (III), его растворимости в водных средах, влияния ультразвуковой обработки на этот процесс показали, что:

Таблица 5 / Table 5

Влияние продолжительности ультразвуковой обработки водной суспензии оксида сурьмы (III) на степень гидратации оксида кадмия различных партий в присутствии технологических добавок (оксида сурьмы (III) и гидроксида никеля (II))

Effect of the duration of ultrasonic treatment (UST) of the aqueous suspension of antimony (III) oxide on the hydration degree of cadmium oxide from several batches in the presence of technological additives (antimony (III) oxide and nickel (II) hydroxide)

№ образца оксида сурьмы (III)	Время гидратации, ч	Время УЗО, мин	Добавки		Степень гидратации
			Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , мас.%	Ni(OH) <sub>2</sub> , мас.%	
1	2	–	5.0	–	CdO·0.19H <sub>2</sub> O
2	2	–	5.0	–	CdO·0.45H <sub>2</sub> O
3	2	–	5.0	–	CdO·0.23H <sub>2</sub> O
4	2	–	5.0	–	CdO·0.28H <sub>2</sub> O
1	2	7	5.0	–	CdO·0.18H <sub>2</sub> O
2	2	7	5.0	–	CdO·0.34H <sub>2</sub> O
3	2	7	5.0	–	CdO·0.18H <sub>2</sub> O
4	2	7	5.0	–	CdO·0.25H <sub>2</sub> O
1	2	14	5.0	–	CdO·0.14H <sub>2</sub> O
2	2	14	5.0	–	CdO·0.23H <sub>2</sub> O
3	2	14	5.0	–	CdO·0.23H <sub>2</sub> O
4	2	14	5.0	–	CdO·0.14H <sub>2</sub> O
1	2	14	1.0	–	CdO·0.37H <sub>2</sub> O
2	2	14	1.0	–	CdO·0.37H <sub>2</sub> O
3	2	14	1.0	–	CdO·0.46H <sub>2</sub> O
4	2	14	1.0	–	CdO·0.37H <sub>2</sub> O
1	2	14	1.0	5.0	CdO·0.30H <sub>2</sub> O
3	2	14	1.0	5.0	CdO·0.30H <sub>2</sub> O
1	2	14	5.0	5.0	CdO·0.30H <sub>2</sub> O
3	2	14	5.0	5.0	CdO·0.37H <sub>2</sub> O
1	2	14	3.0	5.0	CdO·0.22H <sub>2</sub> O
3	2	14	3.0	5.0	CdO·0.26H <sub>2</sub> O
1	2	14	5.0	3.0	CdO·0.14H <sub>2</sub> O
3	2	14	5.0	3.0	CdO·0.14H <sub>2</sub> O
1	2	14	5.0	1.0	CdO·0.14H <sub>2</sub> O
3	2	14	5.0	1.0	CdO·0.14H <sub>2</sub> O

1. Исследуемые образцы оксида сурьмы (III) по химическому, фазовому составу и по дисперсности существенных различий между собой не имеют. Все они представляют собой хорошо окристаллизованную, практически монодисперсную фазу оксида сурьмы (III), которая по величине удельной поверхности изменяется в пределах от 0.3 до 1.6 м<sup>2</sup>/г, размер частиц находится в основном в диапазоне от 0.5 до 1.0 мкм.

2. Растворимость исследуемых образцов оксида сурьмы (III) в зависимости от продолжительности его пребывания в водной суспензии и pH водной вытяжки изменяется в пределах от 0.01 до 0.04 г/л. С увеличением pH до 8.0 происходит некоторое повышение растворимости и уменьшаются различия в растворимости между образцами.

3. Ультразвуковая обработка (7–14 мин) водной суспензии приводит к существенному (практически на порядок) увеличению концентрации сурьмы (III) в водной вытяжке.

4. Предварительная ультразвуковая обработка водной суспензии оксида сурьмы (III) в течение 14 мин приводит к снижению степени гидратации оксида кадмия до 14–30 % в зависимости от количества вводимых добавок (оксида сурьмы (III) и гид-

роксида никеля (II)), к стабилизации процесса гидратации оксида кадмия, к снижению зависимости этого процесса от партий оксида сурьмы (III).

### 3. ВЛИЯНИЕ СОСТАВА АКТИВНОЙ МАССЫ НА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЭЛЕКТРОФОРЕТИЧЕСКИХ КАДМИЕВЫХ ЭЛЕКТРОДОВ

В этом параграфе исследовались электрофоретические кадмиевые электроды, изготовленные по производственной технологии, различающиеся количеством вводимых технологических добавок: оксида сурьмы (III) и гидроксида никеля (II).

#### 3.1. Степень гидратации оксида кадмия в производственных электрофоретических кадмиевых электродах

В табл. 6 приведены результаты термогравиметрического анализа активных масс изготовленных электрофоретических кадмиевых электродов. Из данных, приведённых в табл. 6, следует, что независимо от количества вводимых добавок (сурьмы (III) и никеля (II)) реализуемая в производстве кадмиевых электродов электрофоретическая технология приводит к высокой гидратируемости оксида кадмия (степени гидратации превышает 60%).

Таблица 6 / Table 6

Степень гидратации оксида кадмия и разрядные характеристики на формировочных циклах производственных электрофоретических кадмиевых электродов в зависимости от концентрации оксида сурьмы и гидроксида никеля в активной массе ( $I_{зар} = I_{разр} = 20$  мА,  $U_{разр} = 0.9$  В)

Hydration degree of cadmium oxide and its discharge characteristics on the formation cycles of production electrophoretic cadmium electrodes, as depends on the antimony oxide and nickel hydroxide concentrations in the active mass ( $I_{charge} = I_{discharge} = 20$  mA,  $U_{discharge} = 0.9$  V)

Вариант электродов	Добавки, %		Степень гидратации, $S_{уд}$ , м <sup>2</sup> /г	Общая пористость, %	$Q_{теор}^*$ , мА·ч	$Q_{разр}$ , мА·ч (по циклам)			$K_{исп}$ , % (3)
	Sb	Ni				(1)	(2)	(3)	
I	1.0	5.0	CdO-0.62H <sub>2</sub> O $S_{уд} = 9.5$	38.2	50.4	25.4	26.9	27.1	54
II	2.0	4.0	CdO-0.66H <sub>2</sub> O $S_{уд} = 9.9$	35.3	46.2	22.3	22.6	28.3	61
III	3.0	3.0	CdO-0.62H <sub>2</sub> O $S_{уд} = 8.8$	41.0	58.8	30.7	30.6	30.3	52
IV	4.0	2.0	CdO-0.54H <sub>2</sub> O $S_{уд} = 6.4$	32.1	54.6	31.1	30.9	30.3	55
V	5.0	1.0	CdO-0.54H <sub>2</sub> O $S_{уд} = 3.1$	40.4	58.8	29.5	27.8	27.1	46
VI	5.0	5.0	CdO-0.66H <sub>2</sub> O $S_{уд} = 10.2$	43.2	46.2	24.6	23.3	24.7	53
VII	3.0	5.0	CdO-0.71H <sub>2</sub> O $S_{уд} = 9.4$	39.6	63.0	23.5	27.3	25.7	41
VIII	4.0	5.0	CdO-0.71H <sub>2</sub> O $S_{уд} = 9.5$	37.2	54.6	20.5	27.3	23.2	42

Примечание. \*Теоретическая ёмкость электродов рассчитывалась по количеству оксида кадмия, заложенного в электрод. Для этого из массы электрода вычислялась усреднённая масса решётки. Естественно, усреднение приводило к возрастанию ошибки в определении величины коэффициента использования активной массы (до 5–8%).



Значения общей пористости неформированных электрофоретических кадмиевых электродов, определённые методом гидростатического взвешивания, также приведены в табл. 6. Как видно из полученных данных, какой-либо зависимости пористости неформированных электродов от состава активной массы (количества вводимых добавок, степени гидратации оксида кадмия) не прослеживается. Величина общей пористости изменяется в пределах от 32 до 43%.

В табл. 6 также приведены результаты измерения величины удельной поверхности активных масс производственных электрофоретических кадмиевых электродов вариантов I–VIII. Прежде всего, следует отметить, что исследуемые неформированные электрофоретические кадмиевые электроды имеют высокие значения удельной поверхности, достигающие 9–10 м<sup>2</sup>/г. Величина удельной поверхности зависит от количества сурьмы (III) и никеля (II) в активной массе. Однако влияние сурьмы незначительно. Электроды с высоким содержанием сурьмы (III) и низким содержанием никеля (II) имеют низкие значения  $S_{уд}$ : 3.1 и 6.4 м<sup>2</sup>/г для образцов V и IV соответственно. Наблюдается некоторая зависимость величины удельной поверхности и от степени гидратации: чем ниже степень гидратации, тем меньше величина удельной поверхности электродов (см. образцы IV и V).

### 3.2. Электрохимическое поведение производственных электрофоретических кадмиевых электродов

На рис. 3–6 приведены зарядные и разрядные кривые макетов никель-кадмиевых аккумуляторов с производственными электрофоретическими кадмиевыми электродами (варианты I–VIII), содержащими различные количества сурьмы (III) и никеля (II), в 5 н растворе KOH с добавкой 10 г/л LiOH на 1-м (а) и 3-м (б) формировочных циклах. Величины зарядного тока были одинаковы и составляли 20 мА (это эквивалентно плотности тока, равной 0.5 А/дм<sup>2</sup>). Разряд макетов проводился до напряжения, равного 0.9 В. Разрядная ёмкость макетов ограничивалась ёмкостью кадмиевых электродов. По форме представленные зарядные и разрядные кривые на формировочных циклах имеют типичный вид, а количественные их характеристики приведены в табл. 6.

Общий вывод, который следует из анализа данных, приведённых в табл. 6, указывает на то, что более высокие характеристики имеют кадмиевые электроды с низким содержанием сурьмы (III) и с высоким содержанием никеля (II). Как правило, у таких электродов с ростом числа формировочных циклов наблюдается увеличение разрядной ёмкости (варианты I и II). Увеличение доли сурьмы (III) в активной массе электрода приводит к низкой расформируемости электродов – по мере циклирования величина

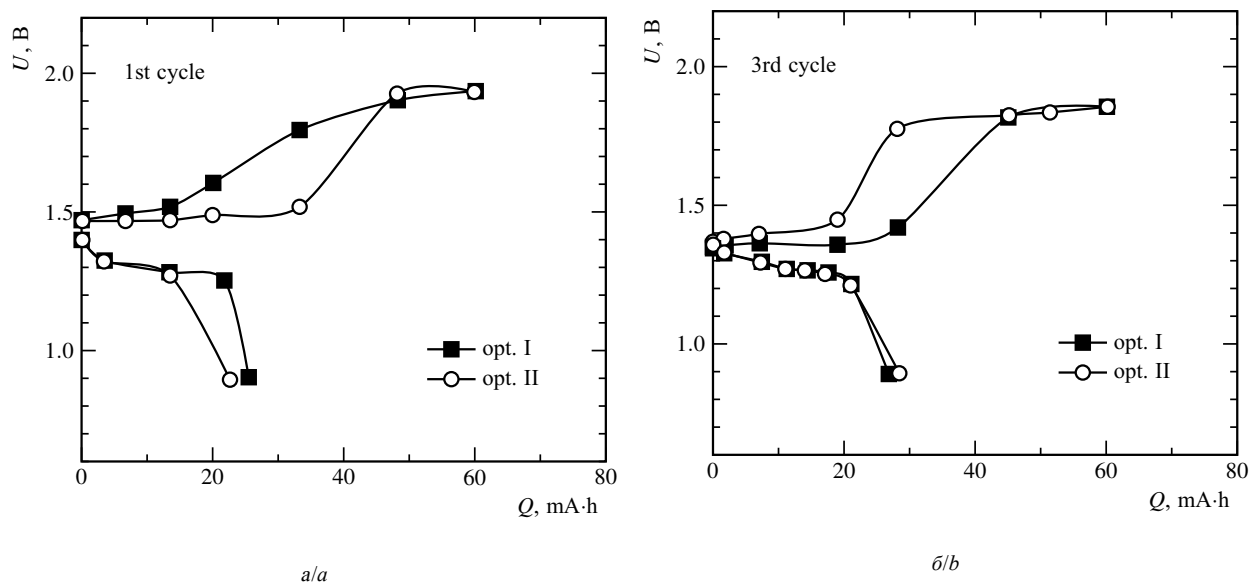


Рис. 3. Зарядные и разрядные кривые макетов никель-кадмиевых аккумуляторов с производственными электрофоретическими кадмиевыми электродами, содержащими 1 мас.% Sb и 5 мас.% Ni (вариант I) и 2 мас.% Sb и 4 мас.% Ni (вариант II), в растворе KOH ( $d = 1.22 \text{ г/см}^3$  с добавкой 10 г/л LiOH) на 1-м (а) и 3-м (б) формировочных циклах ( $I_{зар} = I_{разр} = 20 \text{ мА}$ ,  $U_{разр} = 0.9 \text{ В}$ )

Fig. 3. Charging and discharging curves of nickel-cadmium battery models with industrial electrophoretic cadmium electrodes containing 1 wt% Sb and 5 wt% Ni (opt. I) and 2 wt% Sb and 4 wt% Ni (opt. II), in KOH solution ( $d = 1.22 \text{ g/cm}^3$  with addition of 10 g/L LiOH) on the 1<sup>st</sup> (a) and 3<sup>rd</sup> (b) forming cycles ( $I_{charge} = I_{discharge} = 20 \text{ mA}$ ,  $U_{discharge} = 0.9 \text{ V}$ )

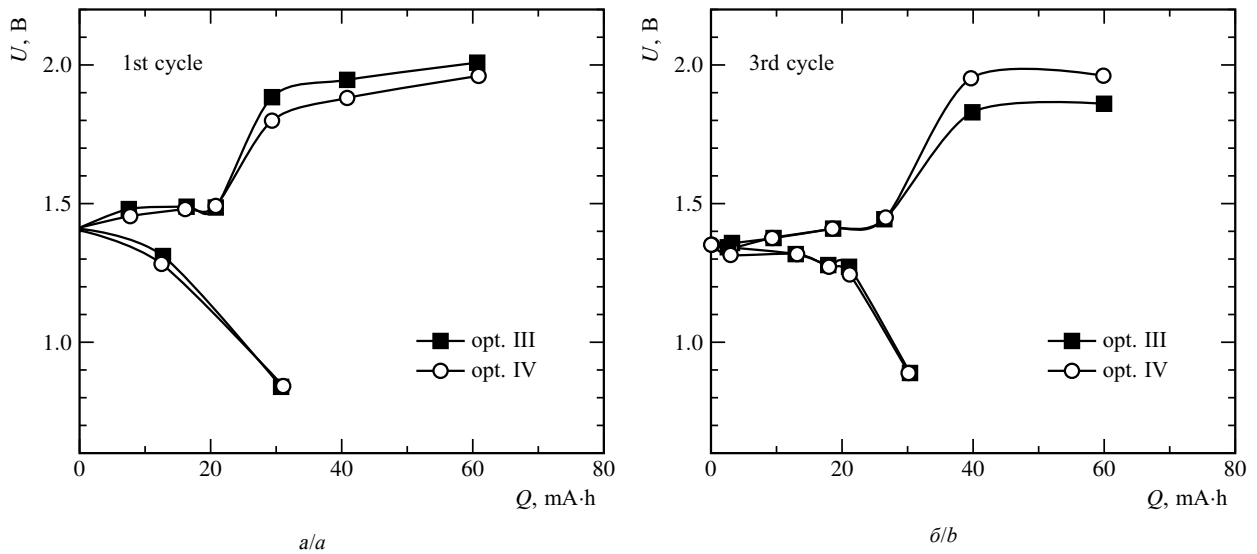


Рис. 4. Зарядные и разрядные кривые макетов никель-кадмиевых аккумуляторов с производственными электрофоретическими кадмиевыми электродами, содержащими 3 мас.% Sb и 3 мас.% Ni (вариант III) и 4 мас.% Sb и 2 мас.% Ni (вариант IV), в растворе KOH ( $d = 1.22 \text{ г/см}^3$  с добавкой 10 г/л LiOH) на 1-м (а) и 3-м (б) формировочных циклах ( $I_{\text{зар}} = I_{\text{разр}} = 20 \text{ мА}$ ,  $U_{\text{разр}} = 0.9 \text{ В}$ )

Fig. 4. Charging and discharging curves of nickel-cadmium battery models with production electrophoretic cadmium electrodes containing 3 wt% Sb and 3 wt% Ni (opt. III) and 4 wt% Sb and 2 wt% Ni (opt. IV), in KOH solution ( $d = 1.22 \text{ g/cm}^3$  with addition of 10 g/L LiOH) on the 1<sup>st</sup> (a) and 3<sup>rd</sup> (b) forming cycles ( $I_{\text{charge}} = I_{\text{discharge}} = 20 \text{ mA}$ ,  $U_{\text{discharge}} = 0.9 \text{ V}$ )

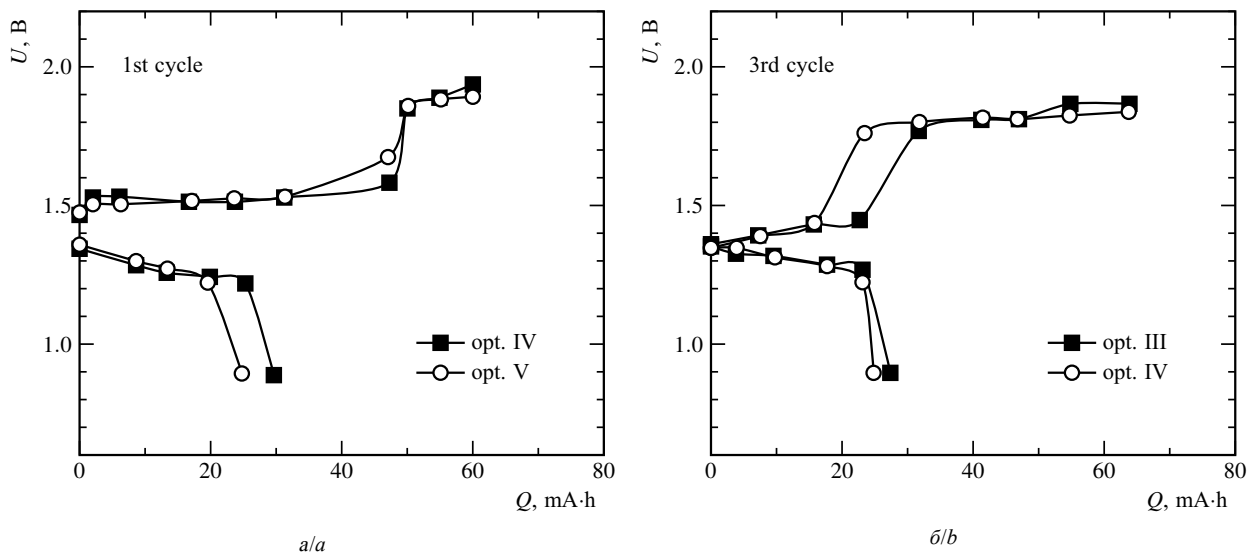


Рис. 5. Зарядные и разрядные кривые макетов никель-кадмиевых аккумуляторов с производственными электрофоретическими кадмиевыми электродами, содержащими 5 мас.% Sb и 1 мас.% Ni (вариант V) и 5 мас.% Sb и 5 мас.% Ni (вариант VI), в растворе KOH ( $d = 1.22 \text{ г/см}^3$  с добавкой 10 г/л LiOH) на 1-м (а) и 3-м (б) формировочных циклах ( $I_{\text{зар}} = I_{\text{разр}} = 20 \text{ мА}$ ,  $U_{\text{разр}} = 0.9 \text{ В}$ )

Fig. 5. Charging and discharging curves of nickel-cadmium battery models with industrial electrophoretic cadmium electrodes containing 5 wt% Sb and 1 wt% Ni (opt. V) and 5 wt% Sb and 5 wt% Ni (opt. VI), in KOH solution ( $d = 1.22 \text{ g/cm}^3$  with addition of 10 g/L LiOH) on the 1<sup>st</sup> (a) and 3<sup>rd</sup> (b) forming cycles ( $I_{\text{charge}} = I_{\text{discharge}} = 20 \text{ mA}$ ,  $U_{\text{discharge}} = 0.9 \text{ V}$ )

разрядной ёмкости практически не изменяется (варианты III–VI).

Подобные явления ранее обсуждались в работе [5]. Дело в том, что с увеличением концентрации сурьмы в активной массе кадмиевого электрода адсорбционное взаимодействие оксида сурьмы (III)

с оксидом кадмия, приводящее к торможению процесса гидратации оксида кадмия, трансформируется в фазовое взаимодействие, в результате которого образуются труднорастворимые антимониты кадмия, которые могут существенно понизить скорости катодного восстановления оксида кадмия и анодного

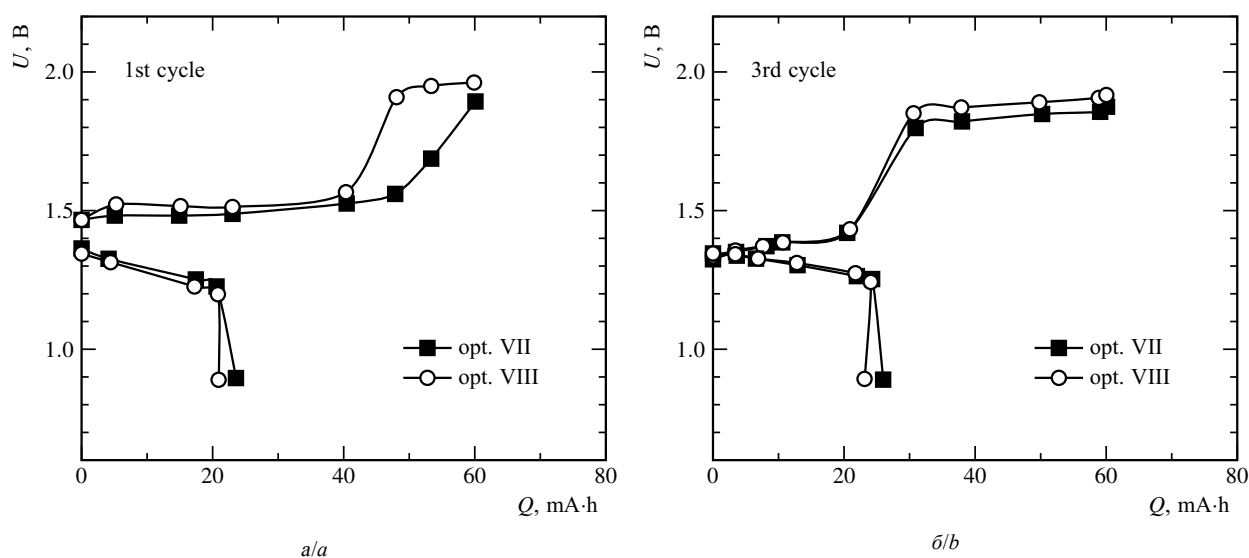


Рис. 6. Зарядные и разрядные кривые макетов никель-кадмиевых аккумуляторов с производственными электрофоретическими кадмиевыми электродами, содержащими 3 мас.% Sb и 5 мас.% Ni (вариант VII) и 4 мас.% Sb и 5 мас.% Ni (вариант VIII), в растворе KOH ( $d = 1.22 \text{ г/см}^3$  с добавкой 10 г/л LiOH) на 1-м (а) и 3-м (б) формировочных циклах ( $I_{\text{зар}} = I_{\text{разр}} = 20 \text{ мА}$ ,  $U_{\text{разр}} = 0.9 \text{ В}$ )

Fig. 6. Charging and discharging curves of nickel-cadmium battery models with industrial electrophoretic cadmium electrodes containing 3 wt% Sb and 5 wt% Ni (opt. VII) and 4 wt% Sb and 5 wt% Ni (opt. VIII), in KOH solution ( $d = 1.22 \text{ g/cm}^3$  with addition of 10 g/L LiOH) on the 1<sup>st</sup> (a) and 3<sup>rd</sup> (b) forming cycles ( $I_{\text{charge}} = I_{\text{discharge}} = 20 \text{ mA}$ ,  $U_{\text{discharge}} = 0.9 \text{ V}$ )

растворения металлического кадмия, так как в условиях работы кадмиевого электрода оба эти процесса протекают через стадию образования растворимых промежуточных продуктов – гидросокомплексов кадмия [6–10]. Глубину протекания этих процессов можно повысить, понизив плотность зарядного и разрядного токов, т. е. оптимизируя процесс формирования кадмиевых электродов.

Таким образом, изучение физико-химических и электрохимических свойств активных масс производственных электрофоретических кадмиевых электродов показало, что:

1. Независимо от концентрации оксида сурьмы (III) и гидроксида никеля (II) степень гидратации оксида кадмия в неформированных электрофоретических электродах составляет 60–70%.

2. Величина удельной поверхности неформированных электрофоретических электродов имеет высокое значение (9–10 м<sup>2</sup>/г) и определяется в основном содержанием гидроксида никеля (II) в активной массе: электроды с низким содержанием никеля (II) имеют и малую величину удельной поверхности (3–6 м<sup>2</sup>/г).

3. Более высокие разрядные характеристики имеют кадмиевые электроды с низким содержанием сурьмы (III) и высоким содержанием никеля (II): для таких электродов с ростом числа формировочных циклов наблюдается увеличение разрядной ёмкости (варианты I и II). Увеличение доли сурьмы (III)

в активной массе электрода приводит к низкой расформируемости электродов – по мере циклирования величина разрядной ёмкости практически не изменяется (варианты III–VI).

### 3.3. Влияние ультразвуковой обработки суспензии оксида сурьмы (III) на степень гидратации оксида кадмия и разрядные характеристики макетов кадмий-никелевых аккумуляторов

Основной целью данного раздела исследований являлось продемонстрировать на модельных кадмиевых электродах влияние предварительной ультразвуковой обработки водной суспензии оксида сурьмы (III) на степень гидратации оксида кадмия и на электрохимические характеристики кадмиевых электродов. В табл. 7 представлены основные физико-химические свойства активных масс и разрядные характеристики кадмиевых электродов, изготовленных из этих активных масс, содержащие добавки сурьмы (III) и никеля (II) в различных соотношениях.

Из данных, приведённых в табл. 7, видно, что предварительная ультразвуковая обработка водной суспензии оксида сурьмы позволяет получать активную массу с низкой степенью гидратации (14–16%), которая практически не зависит от количества технологических добавок. В то же время величина удельной поверхности неформированных кадмиевых электродов

Таблица 7 / Table 7

Степень гидратации оксида кадмия и разрядные характеристики на формировочных циклах макетов никель-кадмиевых аккумуляторов с порометаллическими кадмиевыми электродами в зависимости от концентрации оксида сурьмы (III) и гидроксида никеля (II) в их активной массе ( $I_{зар} = I_{разр} = 40$  мА,  $U_{разр} = 0.9$  В)

Hydration degree of cadmium oxide and its discharge characteristics on the formation cycles of nickel-cadmium battery models with pore-metallic cadmium electrodes, as depends on the antimony (III) oxide and nickel (II) hydroxide concentrations in the active mass ( $I_{charge} = I_{discharge} = 40$  mA,  $U_{discharge} = 0.9$  V)

Вариант активной массы	Добавки, %		Степень гидратации оксида кадмия, $S_{уд}$ , м <sup>2</sup> /г	Номер электрода	$Q_{теор}$ , мА·ч	$Q_{разр}$ , мА·ч (по циклам)			$K_{исп.}$ , % (5)
	Sb	Ni				(1)	(2)	(5)	
Iм	1.0	5.0	CdO-0.24H <sub>2</sub> O $S_{уд} = 9.8$	1	162.2	78.0	84.7	86.0	53.0
				2	168.0	78.0	84.7	86.7	51.6
				ср.					52.3
IIм	3.0	3.0	CdO-0.14H <sub>2</sub> O $S_{уд} = 6.4$	5	161.8	66.0	70.7	86.7	53.6
				6	164.7	66.0	68.7	82.0	49.8
				ср.					51.7
IIIм	5.0	1.0	CdO-0.14H <sub>2</sub> O $S_{уд} = 5.6$	8	84.2	36.7	34.0	44.7	53.1
				9	100.5	46.0	46.7	50.6	50.3
				ср.					51.7

тров зависит от концентрации введённого в активную массу гидроксида никеля (II) и изменяется от 5.6 до 9.8 м<sup>2</sup>/г.

На рис. 7 приведены зарядные и разрядные кривые макетов никель-кадмиевых аккумуляторов с модельными порометаллическими кадмиевыми электродами (варианты Iм–IIIм), содержащи-

ми различные количества сурьмы (III) и никеля (II), в 5 н растворе KOH с добавкой 10 г/л LiOH на 1-м (а) и 4-м (б) формировочных циклах. Величины зарядного тока были одинаковы и составляли 40 мА. Разряд макетов проводился до напряжения, равного 0.9 В. Разрядная ёмкость макетов ограничивалась ёмкостью отрицательных электро-

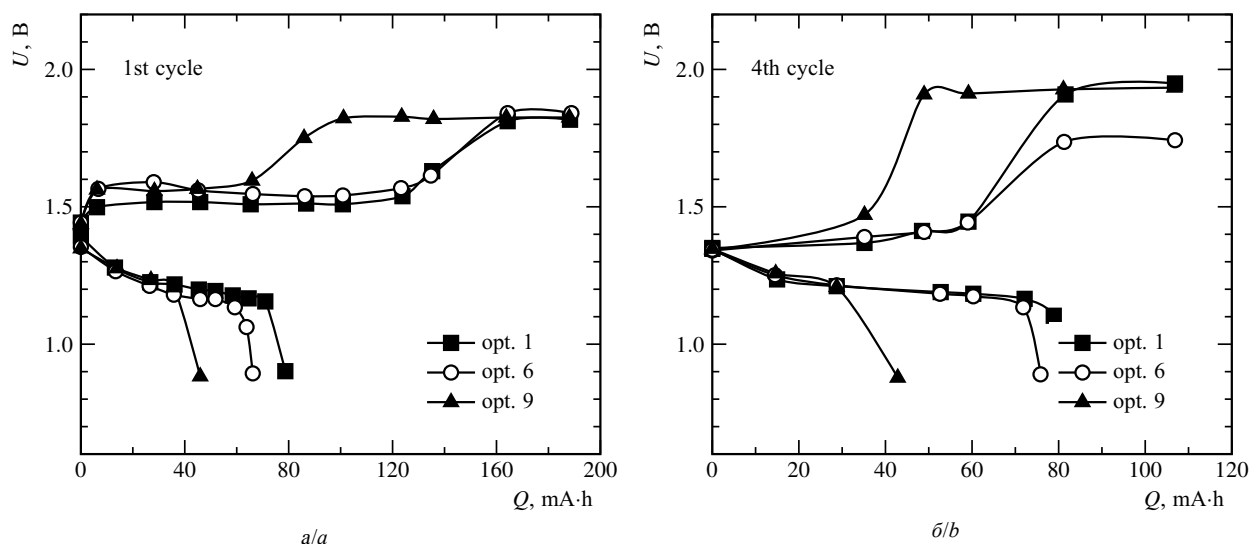


Рис. 7. Зарядные и разрядные кривые макетов никель-кадмиевых аккумуляторов с порометаллическими кадмиевыми электродами, изготовленными из гидратированных образцов оксида кадмия, содержащих 1 мас.% Sb и 5 мас.% Ni (вариант 1 м), 3 мас.% Sb и 3 мас.% Ni (вариант 6) и 5 мас.% Sb и 1 мас.% Ni (вариант 9), в растворе KOH ( $d = 1.22$  г/см<sup>3</sup> с добавкой 10 г/л LiOH) на 1-м (а) и 4-м (б) формировочных циклах ( $I_{зар} = I_{разр} = 40$  мА,  $U_{разр} = 0.9$  В)

Fig. 7. Charging and discharging curves of nickel-cadmium battery models with pore-metallic cadmium electrodes made of hydrated cadmium oxide samples containing 1 wt% Sb and 5 wt% Ni (opt. 1), 3 wt% Sb and 3 wt% Ni (opt. 6), and 5 wt% Sb and 1 wt% Ni (opt. 9), in KOH solution ( $d = 1.22$  g/cm<sup>3</sup> with addition of 10 g/L LiOH) on the 1<sup>st</sup> (a) and 4<sup>th</sup> (b) forming cycles ( $I_{charge} = I_{discharge} = 40$  mA,  $U_{discharge} = 0.9$  V)

дов. По форме представленные зарядные и разрядные кривые на формировочных циклах имеют типичный вид, а количественные их характеристики приведены в табл. 7.

Данные, приведённые в табл. 7, показывают, что кадмиевые электроды, активная масса которых имеют низкую степень гидратации, к 5-му формировочному циклу имеют приблизительно одинаковые коэффициенты использования активной массы (около 52%), несмотря на различное содержание активирующих добавок. В то же время электроды с высоким содержанием сурьмы на первых циклах труднее расформируются. Подобное явление наблюдалось и в предыдущем параграфе при изучении процесса формирования производственных электрофоретических кадмиевых электродов с различным содержанием сурьмы (III) и никеля (II).

Таким образом, изучение влияния ультразвуковой обработки водной суспензии оксида сурьмы (III) на степень гидратации оксида кадмия в присутствии технологических добавок и на разрядные характеристики порометаллических кадмиевых электродов показало, что:

1. Предварительная ультразвуковая обработка водной суспензии оксида сурьмы позволяет получать активную массу с низкой степенью гидратации (14–16%), которая практически не зависит от количества технологических добавок.

2. Величина удельной поверхности гидратированной активной массы зависит от концентрации введённого в активную массу гидроксида никеля (II) и изменяется от 5.6 до 9.8 м<sup>2</sup>/г.

3. Порометаллические кадмиевые электроды, активная масса которых имеют низкую степень гидратации, к 5-му формировочному циклу имеют приблизительно одинаковые коэффициенты использования активной массы (около 52%), несмотря на различное содержание активирующих добавок.

4. Кадмиевые электроды с высоким содержанием сурьмы (III) на первых циклах труднее расформируются.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Исследование физико-химических свойств образцов оксида сурьмы (III), его растворимости в водных средах, влияния pH и ультразвуковой обработки на этот процесс позволило сделать следующие выводы.

1.1. Исследуемые образцы оксида сурьмы (III) по химическому, фазовому составу и по дисперсности существенных различий между собой не имеют. Все они представляют собой хорошо окристаллизо-

ванную, практически монодисперсную фазу оксида сурьмы (III), которые по величине удельной поверхности изменяются в пределах от 0.3 до 1.6 м<sup>2</sup>/г, размер частиц находится в основном в диапазоне от 0.5 до 1.0 мкм.

1.2. Растворимость исследуемых образцов оксида сурьмы (III) в зависимости от продолжительности его пребывания в водной суспензии и pH водной вытяжки изменяется в пределах от 0.01 до 0.04 г/л. С увеличением pH до 8.0 происходит некоторое повышение растворимости и уменьшаются различия в растворимости между образцами.

1.3. Ультразвуковая обработка (7–14 мин) водной суспензии оксида сурьмы (III) приводит к существенному (практически на порядок) увеличению концентрации сурьмы (III) в водной вытяжке.

1.4. Предварительная ультразвуковая обработка водной суспензии оксида сурьмы (III) в течение 14 мин приводит к снижению степени гидратации оксида кадмия до 14–30% в зависимости от количества вводимых добавок (оксида сурьмы (III) и гидроксида никеля (II)), к стабилизации процесса гидратации оксида кадмия, к снижению зависимости этого процесса от партий оксида сурьмы (III).

2. Изучение физико-химических и электрохимических свойств активных масс производственных электрофоретических кадмиевых электродов с различной концентрацией сурьмы (III) и никеля (II) позволило сделать следующие выводы.

2.1. Независимо от концентрации оксида сурьмы (III) и гидроксида

никеля (II) степень гидратации оксида кадмия в производственных неформированных электрофоретических электродах составляет 60–70%.

2.2. Величина удельной поверхности неформированных электрофоретических электродов имеет высокое значение (9–10 м<sup>2</sup>/г) и определяется в основном содержанием гидроксида никеля (II) в активной массе: электроды с низким содержанием никеля (II) имеют и малую величину удельной поверхности (3–6 м<sup>2</sup>/г).

2.3. Более высокие разрядные характеристики имеют кадмиевые электроды с низким содержанием сурьмы (III) и высоким содержанием никеля (II): для таких электродов с ростом числа формировочных циклов наблюдается увеличение разрядной ёмкости (варианты I и II). Увеличение доли сурьмы (III) в активной массе электрода приводит к низкой расформируемости электродов – по мере циклирования величина разрядной ёмкости практически не изменяется (варианты III–VI).

3. Изучение влияния ультразвуковой обработки водной суспензии оксида сурьмы (III) на степень

гидратации оксида кадмия в присутствии технологических добавок и на разрядные характеристики порометаллических кадмиевых электродов позволило сделать следующие выводы.

3.1. Предварительная ультразвуковая обработка водной суспензии оксида сурьмы позволяет получать активную массу с низкой степенью гидратации (14–16%), которая практически не зависит от количества технологических добавок.

3.2. Величина удельной поверхности гидратированной активной массы зависит от концентрации

введённого гидроксида никеля (II) в активную массу и изменяется от 5.6 до 9.8 м<sup>2</sup>/г.

3.3. Порометаллические кадмиевые электроды, активная масса которых имеют низкую степень гидратации, к 5-му формировочному циклу имеют приблизительно одинаковые коэффициенты использования активной массы (около 52%), несмотря на различное содержание активирующих добавок.

3.4. Порометаллические кадмиевые электроды с высоким содержанием сурьмы (III) на первых циклах также труднее расформируются.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Казаринов И. А., Тугушев Р. Э., Львова Л. А. К вопросу о гидратации окиси кадмия в щелочных растворах // Журн. прикл. химии. 1977. Т. 50, № 10. С. 2359–2362.
2. Казаринов И. А., Кадникова Н. В., Львова Л. А. Влияние условий гидратации окиси кадмия на электрические свойства кадмиевых электродов // Журн. прикл. химии. 1978. Т. 51, № 9. С. 1950–1954.
3. Соловьёва Н. А. Исследование и разработка нового технологического процесса изготовления безламельного кадмиевого электрода: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Новочеркасск, 1977. 17 с.
4. Кадникова Н. В., Львова Л. А., Грачев Д. К., Овчинникова Н. П. Изучение адсорбционного взаимодействия оксида кадмия с сурьмой (III) в щелочных растворах // Журн. физ. химии. 1984. Т. 58, № 6. С. 1446–1449.
5. Кадникова Н. В. Механизм взаимодействия в системе оксид кадмия – оксид сурьмы (III) – концентрированный раствор щёлочи: автореф. дис. ... канд. хим. наук. Саратов, 1984. 17 с.

6. Львова Л. А., Грачев Д. К., Обьедков Ю. И., Казаринов И. А. Гальваностатические измерения при анодном окислении кадмиевого электрода в растворах КОН // Электрохимия. 1974. Т. 10, № 8. С. 964–967.
7. Обьедков Ю. И., Львова Л. А. Изучение катодного процесса в системе Cd/Cd(OH)<sub>2</sub>/KOH. I // Электрохимия. 1973. Т. 9, вып. 11. С. 1649–1652.
8. Обьедков Ю. И., Львова Л. А. Изучение катодного процесса в системе Cd/Cd(OH)<sub>2</sub>/KOH. II // Электрохимия. 1974. Т. 10, вып. 3. С. 359–362.
9. Казаринов И. А., Кадникова Н. В., Львова Л. А. Влияние физико-химических свойств гидроксида кадмия на его электрохимическое поведение // Электрохимия. 1980. Т. 16, № 6. С. 809–813.
10. Казаринов И. А., Львова Л. А., Иванова И. Л. Изучение кинетики катодного восстановления гидроксокадматных комплексов в щелочных растворах методом вращающегося дискового электрода // Электрохимия. 1982. Т. 18, № 7. С. 895–898.

#### REFERENCES

1. Kazarinov I. A., Tugushev R. E., L'vova L. A. K voprosu o gidratatsii okisi kadmija v shelochnyh rastvorah [On cadmium oxide hydration in alkaline solutions]. *Electrochimija [Russian J. Electrochemistry]*, 1977, vol. 50, no. 10, pp. 2359–2362 (in Russian).
2. Kazarinov I. A., Kadnikova N. V., L'vova L. A. Vlijanie uslovij gidratatsii okisi kadmija na elektricheskie svojstva kadmievih elektrodov [Influence of the cadmium oxide hydration conditions on the electric properties of cadmium electrodes]. *Zhurnal prikladnoj chimii [Russian J. Appl. Chem.]*, 1978, vol. 51, no. 9, pp. 1950–1954 (in Russian).
3. Solov'eva N. A. Issledovanie i razrabotka novogo technologicheskogo processa izgotovlenija bezlamel'nogo kadmievogo elektroda. *Avtoref. dis. kand. tehn. nauk.* [Study and development of a new technological process for making tubular-plate cadmium electrodes. Phd. aftoref. diss.] Novocherkassk, 1977. 17 p. (in Russian).
4. Kadnikova N. V., L'vova L. A., Grachev D. K., Ovchinnikova N. P. Izuchenie adsorbcionnogo vzaimodejstvija oksida kadmija s sur'moj (III) v shelochnyh rastvorah [Study of the adsorption interaction of cadmium oxide with antimony (III) in alkaline solutions] *Zhurnal fizicheskoj himii [Russian J. Phys. Chem.]*, 1984, vol. 58, no. 6, pp. 1446–1449 (in Russian).
5. Kadnikova N. V. Mehanizm vzaimodejstvija v sisteme oksid kadmija – oksid sur'my (III) – koncentrirovannyj rastvor shjelochi. *Avtoref. dis. kand. him. nauk.* [Interaction mechanism in the system: cadmium oxide – antimony (III) oxide – concentrated alkali solution. Phd. aftoref. diss.] – Saratov, 1984. 17 p. (in Russian).

6. L'vova L. A., Grachev D. K., Ob'edkov Yu. I., Kazarinov I. A. Gal'vanostaticheskie izmerenijapri anodnom okislenii kadmievogo elektroda v rastvorah KOH [Galvanostatic measurements while anodic oxidation of the cadmium electrode in KOH solution]. *Electrochimija [Russian J. Electrochemistry]*, 1974, vol. 10, no. 8, pp. 964–967 (in Russian).
7. Ob'edkov Yu. I., L'vova L. A. Izuchenie katodnogo processa v sisteme Cd/Cd(OH)<sub>2</sub>/KO H. I [Study of the cathode process in the Cd/Cd(OH)<sub>2</sub>/KOH system. I]. *Electrochimija [Russian J. Electrochemistry]*, 1973, vol. 9, no. 11, pp. 1649–1652 (in Russian).
8. Ob'edkov Yu. I., L'vova L. A. Izuchenie katodnogo processa v sisteme Cd/Cd(OH)<sub>2</sub>/KO H. II [Study of the cathode process in the Cd/Cd(OH)<sub>2</sub>/KOH system. II]. *Electrochimija [Russian J. Electrochemistry]*, 1974, vol. 10, no. 3, pp. 359–362 (in Russian).
9. Kazarinov I. A., Kadnikova N. V., L'vova L. A. Vlijanie fiziko-himicheskikh svojstv gidoksida kadmija na ego elektrohimicheskoe povedenie [Influence of the physicochemical properties of cadmium hydroxide on its electrochemical behavior]. *Electrochimija [Russian J. Electrochemistry]*, 1980, vol. 16, no. 6, pp. 809–813 (in Russian).
10. Kazarinov I. A., L'vova L. A., Ivanova I. L. Izuchenie kinetiki katodnogo vosstanovlenija gidroksokadmatnyh kompleksov metodom vrashajushegosja diskovogo elektroda [Study of the kinetics of cathodic reduction of hydroxo-cadmiate complexes in alkaline solutions by the rotating disk electrode method]. *Electrochimija [Russian J. Electrochemistry]*, 1982, vol. 18, no. 7, pp. 895–898 (in Russian).

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ**

**Иванова Светлана Борисовна** – кандидат химических наук, и.о. начальника технического отдела ЗАО «НИИХИТ-2», Саратов. Служебный тел.: (8452) 98-57-90

**Апаликова Любовь Евгеньевна** – кандидат химических наук, ведущий инженер-технолог технического отдела ЗАО «НИИХИТ-2», Саратов. Служебный тел.: (8452) 98-57-90

**Жускеев Артём Романович** – инженер-технолог 2-й кат. технического отдела ЗАО «НИИХИТ-2», Саратов. Служебный тел.: (8452) 98-57-90

**Объедков Юрий Иванович** – кандидат химических наук, зам. генерального директора ЗАО «НИИХИТ-2», Саратов. Служебный тел.: (8452) 98-57-51

**Кадникова Наталья Владимировна** – кандидат химических наук, ведущий инженер кафедры 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: kadnat09@mail.ru

**Казаринов Иван Алексеевич** – доктор химических наук, профессор, зав. 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