

МЕХАНИЗМ ФОРМИРОВАНИЯ ГИДРОКСИДА НИКЕЛЯ В СИСТЕМЕ $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2\text{—NaOH}$

**В. А. СОЛОВОВ^{1*}, Н. В. НИКОЛЕНКО¹, В. Л. КОВАЛЕНКО^{1,4}, В. А. КОТОК^{2,4},
Д. В. ГИРЕНКО³**

¹кафедра аналитической химии и химической технологии пищевых добавок и косметических средств, ГВУЗ УГХТУ, г. Днепр, УКРАИНА

²кафедра процессов и аппаратов и общей химической технологии, ГВУЗ УГХТУ, г. Днепр, УКРАИНА

³кафедра физической химии, ГВУЗ УГХТУ, г. Днепр, УКРАИНА

⁴кафедра технологии неорганических веществ и электрохимических производств, ФГБОУ ВО ВятГУ, г. Киров, РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

*email: sva-92@mai.ru

АННОТАЦИЯ Гидроксид никеля является активным веществом щелочных аккумуляторов и суперконденсаторов, которые широко используются в качестве источника питания различных электрических и электронных устройств. Для синтеза гидроксида никеля с высокими электрохимическими характеристиками необходимо изучить механизм его формирования. Проведен анализ процесса образования осадка в системе $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2\text{—NaOH}$ методом комбинированного кондуктометрического и потенциометрического титрования. Было установлено, что процесс формирования гидроксида никеля из раствора нитрата никеля происходит в две стадии: 1) осаждение основного нитрата никеля; 2) трансформация основного нитрата никеля в гидроксид. Определено, что состав первичного осадка соответствует формуле $\text{Ni}(\text{NO}_3)_{0.13}(\text{OH})_{1.87}$.

Ключевые слова: гидроксид никеля; комплексное кондуктометрическое и потенциометрическое титрование; механизм формирования; основной нитрат никеля

FORMATION MECHANISM OF NICKEL HYDROXIDE IN SYSTEM $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2\text{—NaOH}$

V. A. SOLOVOV¹, N. V. NIKOLENKO¹, V. L. KOVALENKO^{1,4}, V. A. KOTOK^{2,4}, D. V. GIRENKO³

¹The Department of Analytical Chemistry and Food Additives and Cosmetics, SHEI USUCT, Dnipro city, UKRAINE

²The Department of Processes, Apparatus and General Chemical Technology SHEI USUCT Dnipro city, UKRAINE

³The Department of Physical Chemistry, SHEI USUCT Dnipro city, UKRAINE

⁴The Department of Technologies of Inorganic Substances and Electrochemical Manufacturing, FSBEI HE Vyatka State University, Kirov city, RUSSIAN FEDERATION

ABSTRACT Nickel hydroxide is used an active substance for accumulators and supercapacitors, which are widely used as power sources for various electric devices and electronics. According to literature the formation of divalent metal hydroxides such as zinc and cadmium hydroxides ($\text{Zn}(\text{OH})_2$, $\text{Cd}(\text{OH})_2$) occurs in two stage: 1) precipitation of metal hydroxyl salt; 2) reaction of hydroxyl salt with hydroxyl groups with formation of metal hydroxide. Though the nickel hydroxyl nitrate is known, the information regarding its formation mechanism and composition is limited. Aim of the work was to establish the formation mechanism of nickel hydroxide from nitrate precursor and to establish the composition of formed precipitate. In order to achieve the set aim, the analysis of $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2\text{—NaOH}$ system has been carried out using combined method of conductometric and potentiometric titration. It had been established that process of nickel hydroxide formation from nitrate solution occurs in two stages: 1) precipitation of basic nickel nitrate; 2) transformation of basic nickel nitrate into hydroxide. It had been established that composition of primary precipitate correspond to the formula $\text{Ni}(\text{NO}_3)_{0.13}(\text{OH})_{1.87}$.

Keywords: nickel hydroxide; conducmetric and potentiometric complex titration; formation mechanism; base nickel nitrate

Введение

Гидроксид никеля имеет широкий спектр применения, в частности как активное вещество в аккумуляторах, суперконденсаторах, электрохромных устройствах и электрохимических сенсорах, а также используется в фото- и электрокатализе [1]. Щелочные никель-кадмиевые, никель-железные,

никель-металлгидридные, никель-цинковые и никель-водородные аккумуляторы и гибридные суперконденсаторы с окисноникелевым фарадеевским электродом используются в качестве источника питания для запуска и работы различных электродвигателей, в том числе в горнодобывающем и шахтном оборудовании, в электромобилях, ручном электроинструменте, в источниках бесперебойного

питания компьютеров, медицинских приборов или целых зданий и помещений.

Требования к гидроксиду никеля, используемому в щелочных аккумуляторах различной конструкции (ламельных или намазных) и гибридных суперконденсаторов значительно различаются как по типу частиц и их размеру, так и по модификации и кристалличности. Все эти параметры в значительной степени определяются методом синтеза. В зависимости от назначения гидроксида никеля и требуемых его характеристик, используются различные методы синтеза, такие как гомогенное осаждение [2], осаждение щелочью [3] электрохимическое осаждение [4,5], золь-гель [6], высокотемпературный двухступенчатый синтез [7] и др. Наиболее распространенным является метод химического осаждения с использованием растворов щелочи [1]. Исходя из химических свойств, можно предположить, что в ходе химического осаждения гидроксид никеля образуется по реакции:



Однако, в литературе [8-10] указывается, что гидроксид никеля, полученный методом химического осаждения, не соответствует формуле $\text{Ni}(\text{OH})_2$ и содержит в своем составе анионы соли прекурсора, что указывает на их участие в процессе формирования гидроксида никеля. Вассерман [11] показал, что осадки гидроксидов двухвалентных металлов образуются по двухступенчатому механизму: вначале образуются первичные аморфные частицы, которые потом кристаллизуются. При титровании сульфата цинка щелочью [11] выявлено, что при молярном соотношении $\text{OH}^-/\text{Zn}^{2+}=1,6$ образуется первичный осадок основного сульфата, который при дальнейшем введении щелочи переходит в гидроксид. Для гидроксида никеля такие данные отсутствуют. Это не позволяет как полноценно и целенаправленно выбрать метод синтеза, так и оптимизировать технологические параметры получения с формированием гидроксида никеля с требуемыми характеристиками

Цель работы

- 1) Изучить механизм формирования гидроксида никеля в системе $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2\text{—NaOH}$.
- 2) Определить состав осадка, формирующегося в процессе осаждения.

Изложение основного материала Методика исследований

В ходе исследования использовались реактивы $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ и NaOH квалификации «х.ч».

Механизм формирования изучался методом комбинированного кондуктометрического и

потенциометрического титрования. В ходе титрования к раствору 0,3 М $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$ при постоянном перемешивании добавляли раствор 0,8 М NaOH . Объем одноразово вводимого титранта составлял 1 мл, значения pH и сопротивления раствора измеряли через 3 мин после добавления.

Потенциометрия проводилась при фиксации pH с помощью pH-метра pH-150МИ с универсальным электродом, который был предварительно откалиброван с использованием стандартных буферных растворов с pH 6.86 и 9.18.

Кондуктометрия проводилась при измерении сопротивления раствора при помощи моста переменного тока высокой частоты (10 кГц). Для измерения использовали два гладких платиновых электрода площадью по 2 см². Мостовую схему уравнивали по показаниям осциллографа. Для предотвращения дополнительного влияния при измерении сопротивления магнитная мешалка отключалась.

Обсуждение результатов

На рис. 1 представлены зависимости pH и сопротивления реакционного раствора от молярного соотношения добавленной щелочи к начальному количеству Ni^{2+} .

На кривой pH наблюдается только один скачок титрования в интервале 8 – 12, характеризующий полное осаждение гидроксида никеля. Процесс промежуточного образования осадка основной соли на кривой потенциометрического титрования не зафиксирован, что соответствует литературным данным [11].

На кривой сопротивления можно выделить три участка, соответствующих следующему соотношению $\text{NaOH}/\text{Ni}^{2+}$: участок I – 0,3-0,88, участок II – 0,88-1,87 и участок III – 1,87-2,2.

Перед рассмотрением кривой титрования необходимо отметить следующее. Если при титровании катион Ni^{2+} связывается с гидроксил-анионом с образованием $\text{Ni}(\text{OH})_2$, то в растворе остается катион Na^+ из добавленной щелочи. При этом подвижность (эквивалентная электропроводность) обоих катионов одинакова [12], поэтому замена Ni^{2+} на Na^+ при образовании $\text{Ni}(\text{OH})_2$ не приведет к изменению проводимости и, соответственно, сопротивления раствора.

На участке I (рис. 1) наблюдаются в общем случае снижение сопротивления. Изначально было высказано предположение, что это снижение сопротивления может объясняться образованием заряженных частиц малого размера, которые так же являются переносчиками тока. При проведении титрования было обнаружено, что на участке I в реакционном стакане частицы осадка визуально не наблюдались. Однако более существенным, вероятно, было влияние другого фактора – температуры, а точнее теплового эффекта реакции, происходящей

при титровании. для реакции 1 было посчитано стандартное изменение энтальпии, которое составило - 28,3285 кДж/моль. Сразу необходимо отметить, что реакция является экзотермической. Однако следует указать, что подобный расчет является очень грубым и приближенным, т.к. не известна точная формула вещества в образующемся осадке и его энтальпия образования. Для качественного определения знака теплового эффекта химической реакции был проведен эксперимент по взаимодействию растворов нитрата никеля и щелочи (в стехиометрическом соотношении) в калориметре. Было показано, что реакция действительно экзотермическая с существенным выделением тепла. Кроме того было выявлено экзотермический эффект при разбавлении раствора щелочи. Исходя из этого, можно сказать, что незначительное снижение сопротивления на участке Юбуловлено нагревом реакционной смеси за счет теплового эффекта реакции. Значительные колебания сопротивления наиболее вероятно указывают на нестабильность системы.

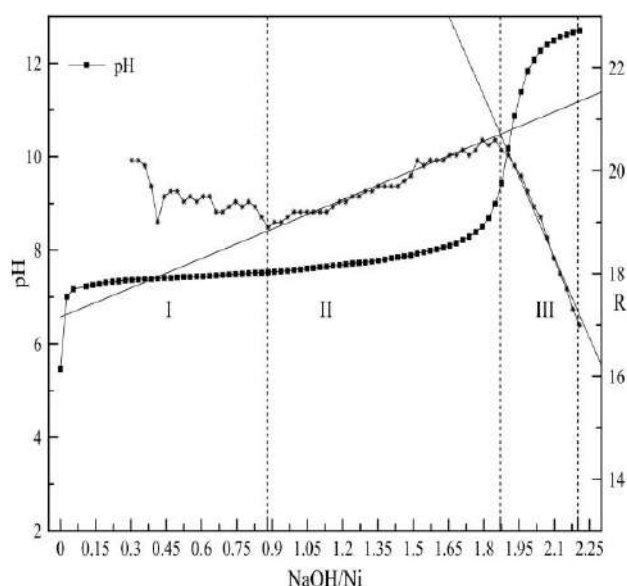


Рис. 1 – Зависимость pH и сопротивления раствора от соотношения $\text{NaOH}/\text{Ni}^{2+}$

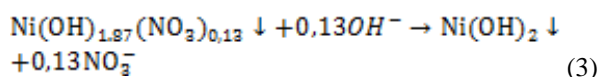
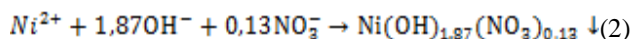
На участке 0,88-1,87 наблюдается стабильный рост сопротивления раствора. Как указывалось выше, постепенное замещение катионов Ni^{2+} на Na^+ в ходе титрования не должно влиять на сопротивление раствора. Наиболее вероятно, на участке II происходит коагуляция осадка. Заряженные частицы (вносящие вклад в электропроводность) превращаются в крупные незаряженные частицы, что увеличивает сопротивление. При этом из-за нахождения в растворе большого количества достаточно крупных непроводящих частиц увеличивается путь тока из-за отклонения от линейного, т.к. силовые линии электрического поля огибают изоляторы. Тем самым сопротивление

раствора повышается. Колебания сопротивления раствора также могут возникать из-за неравномерной температуры раствора, обусловленной экзотермическим характером реакции осаждения и разбавления щелочи.

На границе участков II и III наблюдается излом кривой сопротивления при молярном соотношении $\text{NaOH}/\text{Ni}^{2+}=1,87$, после которого на участке III сопротивление раствора резко падает. Это указывает на появление в растворе свободных гидроксил-анионов, имеющих значительно более высокую подвижность. Это четко указывает, что в точке молярного соотношения $\text{NaOH}/\text{Ni}^{2+}=1,87$ в растворе отсутствуют свободные ионы никеля и образование первичной формы осадка завершено. Однако, в этой точке щелочи явно недостаточно для формирования осадка состава $\text{Ni}(\text{OH})_2$, что указывает на формирование осадка, содержащего в себе как гидроксильные так и нитратные группы. Так как кристаллические решетки основных солей и $\alpha\text{-Ni}(\text{OH})_2$ идентичны, первичный осадок можно считать основным нитратом никеля или гидроксидом с дефицитом OH^- групп [8], состав которого, согласно результатам титрования, соответствует формуле $\text{Ni}(\text{OH})_{1,87}(\text{NO}_3)_{0,13}$. Однако, по нашему мнению, называть сформировавшийся осадок основным нитратом никеля является более корректным.

В точке кривой при молярном соотношении $\text{NaOH}/\text{Ni}^{2+}=1,87$ происходит переход от быстрой гомогенной реакции ионов Ni^{2+} и OH^- [11] (реакция 2) к значительно более медленной топохимической реакции осадка основного нитрата никеля с избыточным количеством гидроксил-анионов с переходом в гидроксид (реакция 3). Вероятно, полное время реагирования щелочи, содержащегося в 1 мл 0,8 М раствора NaOH , превышает 3 минуты, в результате в растворе на момент измерения сопротивления остается некоторое количество свободных гидроксил-ионов.

Исходя из полученных данных, можно сделать вывод, что в ходе титрования раствора нитрата никеля, процесс образования гидроксида никеля состоит из двух стадий: 1) осаждения основного нитрата никеля; 2) трансформация основного нитрата никеля в гидроксид путем топохимической реакции с избыточным количеством гидроксил-анионов. Суммарно, обе стадии можно записать в виде:



Скорость жидкофазной реакции (2) очень большая [11], что подтверждалось в практически мгновенном (5-7 секунд) изменении сопротивления раствора при добавлении порции титранта на

участке II. Так как в ходе реакции 2в растворе происходит не только замещение Ni^{2+} на Na^+ , но и удаление NO_3^- из раствора, то можно сделать вывод, что рост сопротивления на участке II связан не только коагуляцией частиц осадка основного нитрата никеля, но и уходом из раствора нитрат-анионов с образованием основного нитрата никеля.

Следует отметить, что реакция (3) является топохимической, и по сравнению с реакцией (2) ее скорость мала, что позволило зафиксировать окончание осаждения никеля в виде основного нитрата, при помощи кондуктометрического титрования.

Выводы

1. Проведено изучение механизма осадка в системе $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2\text{—NaOH}$ при помощи метода комбинированного кондуктометрического и потенциометрического титрования.

2. Установлено, что при титровании раствора нитрата никеля, формирование гидроксида никеля происходит в две стадии: 1) осаждение первичного осадка основного нитрата никеля; 2) переход основного нитрата никеля в гидроксид никеля.

3. Установлено, что состав первичного осадка соответствует формуле $\text{Ni}(\text{NO}_3)_{0.13}(\text{OH})_{1.87}$.

Список литературы

- Hall, D. S. Nickel hydroxides and related materials: a review of their structures, synthesis and properties / D. S. Hall, D. J. Lockwood, C. Bock, B. R. MacDougall // *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*. – 2014. – Vol. 471, No. 2174. – 65 P. – doi: 10.1098/rspa.2014.0792.
- Mavis, B. Cyanate intercalation in nickel hydroxide / B. Mavis, M. Akinc // *Chemistry of Materials*. – 2006. – Vol. 18, No. 22. – P. 5317–5325. – doi: 10.1021/cm0528835.
- Carpenter, M. K. The electrochromic properties of hydrous nickel oxide / M. K. Carpenter, R. S. Conell, D. A. Corrigan // *Solar energy materials*. – 1987. – Vol. 16, No. 4. – P. 333–346. – doi: 10.1016/0165-1633(87)90082-7.
- Kotok, V. A. The stability of aluminium-substituted alpha-nickel hydroxide [Текст] / V. A. Kotok, N. D. Koshel, V. L. Kovalenko, A. A. Grechanuk // *First Regional Symposium on Electrochemistry of South-East Europe "RSE-SEE", Book of international conference*. Croatia Rovinj, – 2008. – P. 201 – 203.
- Kovalenko, V. L. The synthesis of nickel hydroxide by electrolysis from nickel nitrate solution in the slit diaphragm electrolyzer. Electrochemical properties / V. L. Kovalenko, V. A. Kotok // *Collection of research papers of National mining university*. – 2015 – № 49 – P. 181–186.
- Tadanaga, K. Preparation of Co-Al and Ni-Al layered double hydroxide thin films by a sol-gel process with hot water treatment / K. Tadanaga, A. Miyata, D. Ando, N. Yamaguchi // *Journal of Sol-Gel Science and Technology*. –

2012. – Vol. 62 – P. 111-116. – doi:10.1007/s10971-012-2692-z.
- Kovalenko, V. L. Nickel hydroxide obtained by high-temperature two-step synthesis as an effective material for supercapacitor applications / V. L. Kovalenko, V. A. Kotok, A. A. Sykchin, I. A. Mudryi, B. A. Ananchenko, A. A. Burkov, V. A. Sololov, S. Deabate, A. Mehdi, J.-L. Bantignies, F. Henn // *Journal of Solid State Electrochemistry*. – 2017. – Vol. 21. – P. 683–691. – doi:10.1007/s10008-016-3405-2.
- Ramesh, T. N. Synthesis of nickel hydroxide: effect of precipitation conditions on phase selectivity and structural disorder / T. N. Ramesh, P. V. Kamath // *Journal of Power Sources*. – 2006. – Vol. 156, No. 2. – P. 655–661. – doi:10.1016/j.jpowsour.2005.05.050.
- Song, Q. Structural characteristics of nickel hydroxide synthesized by a chemical precipitation route under different pH values / Q. Song, Z. Tang, H. Guo, S. L. Chan // *Journal of Power Sources*. – 2002. – Vol. 112, No. 2. – P. 428–434. – doi: 10.1016/S0378-7753(02)00396-8.
- Wilbur, S. J. Jr. A New Method of Studying Basic Metal Salts Applied to Certain Basic Salts of Nickel / S. J. Jr. Wilbur, J. T. Carriel // *Journal of American Chemical Society*. – 1953. – Vol. 75, No. 4 – P. 778-781. – doi: 10.1021/ja01100a005.
- Вассерман, И. М. Химическое осаждение из растворов / И. М. Вассерман. – Л. : Химия., 1980. – 208с.
- Лурье, Ю. Ю. Справочник по аналитической химии / Ю. Ю. Лурье. – М. : Химия., 1971. – 456 с.

Bibliography (transliterated)

- Hall, D. S., Lockwood, D. J., Bock, C., MacDougall, B. R. Nickel hydroxides and related materials: a review of their structures, synthesis and properties. *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 2014, **2174** (471), 65. doi: 10.1098/rspa.2014.0792.
- Mavis, B., Akinc, M. Cyanate intercalation in nickel hydroxide *Chemistry of Materials*. 2006, **22**(18), 5317–5325. doi: 10.1021/cm0528835.
- Carpenter, M. K., Conel, R. S., Corrigan, D. A. The electrochromic properties of hydrous nickel oxide. *Solar energy materials*, 1987, **4**(16), 333–346. doi: 10.1016/0165-1633(87)90082-7.
- Kotok, V. A., Koshel, N. D., Kovalenko, V. L., Grechanuk, A. A. The stability of aluminium-substituted alpha-nickel hydroxide. *First Regional Symposium on Electrochemistry of South-East Europe "RSE-SEE", Book of international conference*. Croatia Rovinj, 2008, 201 – 203.
- Kovalenko, V. L., Kotok, V. A. The synthesis of nickel hydroxide by electrolysis from nickel nitrate solution in the slit diaphragm electrolyzer. Electrochemical properties, *Collection of research papers of National mining university*, 2015, **49**, 181–186.
- Tadanaga, K., Miyata, A., Ando, D., Yamaguchi, N. Preparation of Co-Al and Ni-Al layered double hydroxide thin films by a sol-gel process with hot water treatment. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 2012, **62**, 111-116. doi: 10.1007/s10971-012-2692-z.
- Kovalenko, V. L., Kotok, V. A., Sykchin, A. A., Mudryi, I. A., Ananchenko, B. A., Burkov, A. A., Sololov, V. A.,

- Deabate, S., Mehdi, A., Bantignies, J.-L., Henn, F.** Nickel hydroxide obtained by high-temperature two-step synthesis as an effective material for supercapacitor applications, *Journal of Solid State Electrochemistry*, 2017, **21**, 683–691. doi: 10.1007/s10008-016-3405-2.
8. **Ramesh, T. N., Kamath, P. V.** Synthesis of nickel hydroxide: effect of precipitation conditions on phase selectivity and structural disorder. *Journal of Power Sources*, 2006, **2**(156) P. 655–661. doi:10.1016/j.jpowsour.2005.05.050.
9. **Song, Q., Tang, Z., Guo, H., Chan, S. L.** Structural characteristics of nickel hydroxide synthesized by a chemical precipitation route under different pH values, *Journal of Power Sources*, 2002, **2**(112), 428–434. doi: 10.1016/S0378-7753(02)00396-8.
10. **Wilbur, S. J. Jr., Carriel, J. T.** A New Method of Studying Basic Metal Salts Applied to Certain Basic Salts of Nickel, *Journal of American Chemical Society*, 1953, **4** (75), 778–781. doi: 10.1021/ja01100a005.
11. **Vasserman, I. M.** Chemical precipitation from a solutions (Himicheskoye osazhdeniye iz rastvorov) – L. Himiya, 1980, 208.
12. **Lure, Yu. Yu.** Spravochnik po analiticheskoy himii. M. Himiya, 1971, 456.

Сведения об авторах (About authors)

Соловов Виталий Андреевич – магистр, аспирант, Государственное высшее учебное заведение «Украинский Государственный Химико-Технологический Университет», аспирант кафедры аналитической химии и химической технологии пищевых добавок и косметических средств, г. Днепр, Украина; e-mail: sva-92@mail.ru.

Vitalii Solovov – master, Ph. D. student, State higher education institution, “Ukrainian State University of Chemical Technology”, Ph.D. student of Department of Analytical Chemistry and Food Additives and Cosmetics, Dnipro city, Ukraine; e-mail: sva-92@mail.ru.

Николенко Николай Васильевич – доктор химических наук, профессор, Государственное высшее учебное заведение «Украинский Государственный Химико-Технологический Университет», заведующий кафедры аналитической химии и химической технологии пищевых добавок и косметических средств, г. Днепр, Украина; e-mail: n_nikolenko@ukr.net.

Nikolai Nikolenko – Professor of Chemical Sciences (Ph. D.), professor, State higher education institution, “Ukrainian State University of Chemical Technology”, head of Department of Analytical Chemistry and Food Additives and Cosmetics, Dnipro city, Ukraine; e-mail: n_nikolenko@ukr.net.

Коваленко Вадим Леонидович – кандидат технических наук, доцент, Государственное высшее учебное заведение «Украинский Государственный Химико-Технологический Университет», доцент кафедры аналитической химии и химической технологии пищевых добавок и косметических средств, г. Днепр, Украина.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Вятский Государственный Университет», кафедры технологии неорганических веществ и электрохимических производств, г. Вятка, Российская федерация; e-mail: vadimchem@gmail.com.

Vadym Kovalenko – Candidate of Engineering Sciences (Ph. D.), Associate Professor, State higher education institution, “Ukrainian State University of Chemical Technology”, Associate Professor of Department of Analytical Chemistry and Food Additives and Cosmetics, Dnipro city, Ukraine.

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Vyatka State University», associate professor of Department of Technologies of Inorganic Substances and Electrochemical Manufacturing, Kirov city, Russian Federation; e-mail: vadimchem@gmail.com.

Коток Валерий Анатольевич – кандидат технических наук, доцент, Государственное высшее учебное заведение «Украинский Государственный Химико-Технологический Университет», доцент кафедры процессов и аппаратов и общей химической технологии, г. Днепр, Украина.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Вятский Государственный Университет», кафедры технологии неорганических веществ и электрохимических производств, г. Вятка, Российская федерация; e-mail: valeriykotok@gmail.com.

Valerii Kotok – Candidate of Engineering Sciences (Ph. D.), Associate Professor, State higher education institution, “Ukrainian State University of Chemical Technology”, associate professor of department of Processes, Apparatus and General Chemical Technology, Dnipro city, Ukraine.

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Vyatka State University», associate professor of Department of Technologies of Inorganic Substances and Electrochemical Manufacturing, Kirov city, Russian Federation; e-mail: valeriykotok@gmail.com.

Гиренко Дмитрий Вадимович – кандидат химических наук, доцент, Государственное высшее учебное заведение «Украинский Государственный Химико-Технологический Университет», доцент кафедры физической химии, г. Днепр, Украина; e-mail: dvgir@mail.ru.

Dmitrii Girenko – Candidate of Chemical Sciences (Ph. D.), Associate Professor, State higher education institution, “Ukrainian State University of Chemical Technology”, associate professor of Department of Physical Chemistry, Dnipro city, Ukraine; e-mail: dvgir@mail.ru.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Соловов, В. А. Механизм формирования гидроксида никеля в системе $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2\text{—NaOH}$ / **В. А. Соловов, Н. В. Николенко, В. Л. Коваленко, В. А. Коток, Д. В. Гиренко** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серия: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2017. – № 7 (1229). – С. 199-204. – doi:10.20998/2413-4295.2017.07.28.

Please cite this article as:

Solovov, V. A., Nikolenko, N. V., Kovalenko, V. L., Kotok, V.A., Girenko, D.V. Formation mechanism of nickel hydroxide in system $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2\text{—NaOH}$. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2017, 7 (1229), 199–204, doi:10.20998/2413-4295.2017.07.28.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Соловов, В. А. Механізм формування гідроксиду нікелю в системі $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2\text{—NaOH}$ / **В. А. Соловов, М. В. Ніколенко, В. Л. Коваленко, Д. В. Гиренко** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2017. – № 7 (1229). – С. 199-204. – doi:10.20998/2413-4295.2017.07.28.

АНОТАЦІЯ Гідроксид нікелю є активною речовиною лужних акумуляторів та суперконденсаторів, які широко використовуються в якості джерела живлення різних електричних та електронних пристроїв. Для синтезу гідроксиду нікелю з високими електрохімічними характеристиками необхідно вивчати механізм його утворення. Проведено аналіз процесу утворення осаду в системі $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2\text{—NaOH}$, використовуючи метод комбінованого кондуктометричного та потенціометричного титрування. Було встановлено, що процес формування гідроксиду нікелю із розчину нітрату нікелю проходить у дві стадії: 1) осадження основного нітрату нікелю; 2) трансформація основного нітрату нікелю у гідроксид. Встановлено, що склад первинного осаду відповідає формулі $\text{Ni}(\text{NO}_3)_{0.13}(\text{OH})_{1.87}$.

Ключові слова: гідроксид нікелю; комбіноване кондуктометричне та потенціометричне титрування; механізм формування; основний нітрат нікелю

Поступила (received) 05.03.2017