На правах рукописи

ВОЛЫНСКИЙ ВЯЧЕСЛАВ ВИТАЛИЕВИЧ

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ОКСИДНОНИКЕЛЕВЫХ ЭЛЕКТРОДОВ НА ВОЛОКНОВОЙ ПОЛИМЕРНОЙ ОСНОВЕ

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание

ученой степени кандидата технических наук

1998

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы.

Интенсивное развитие современной техники предъявляет к химическим источникам тока все более жесткие требования - это стабильно высокие удельные характеристики, продолжительный срок службы, простота эксплуатации и приемлемая цена. Всем этим требованиям наиболее полно соответствуют никель-кадмиевые аккумуляторы (НКА), способные обеспечивать автономное электропитание в течение максимально возможного промежутка времени. Основные исследования ведутся в двух направлениях: создание принципиально новых и совершенствование существующих технологий изготовления электрохимических систем.

К настоящему времени известно много различных типов НКА, отличающихся друг от друга способом изготовления электродных основ. В этом плане одними из наиболее перспективных являются источники тока с волокновыми электродами.06-ладая высокой энергоемкостью и повышенным ресурсом (до 5000 циклов при 60% глубине разряда), аккумуляторы с такими электродами не требуют особого ухода, безотказны и работоспособны практически в любых климатических условиях. Высокая пористость волокновых основ (85-95%) позволяет уменьшить, при равной емкости, объем аккумулятора примерно на 20%, а массу примерно на 25% по сравнению с традиционными аккумуляторами, где используются электроды с ламельными или спеченными пластинами. Один кубический сантиметр объема электрода с волокновой основой содержит 300 метров проводящего волокна, что обеспечивает хороший токосъем и позволяет отказаться от добавки графита - основного источника карбонатов в щелочном электролите. По данным фирмы «Норреске» расходы на замену электролита, связанные с его карбонизацией, за 15 лет эксплуатации батареи могут в 19 раз превысить стоимость самой батареи. Использование волокновых основ позволяет значительно сократить потребление металлического никеля на изготовление оксидноникелевых электродов (ОНЭ).

Кроме того, существенно снижается потребление воды и электроэнергии. Применение пастированной технологии заполнения волокновых электродов активной массой дает возможность уменьшить концентрацию соединений никеля в промышленных стоках.

Вместе с тем, следует отметить, что отечественные макеты НКА с электродами на волокновой основе в виде нетканого полотна из ион обменных щелочестойких волокон, покрытых слоем химически осажденного никеля с последующим наращиванием слоя до требуемой толщины путем электрохимического выделения, при относительно низкой стоимости, имеют недостаточно высокую удельную емкость 29.5 А-ч/кг, коэффициент использования активного материала 80.6% и ресурс 600 циклов. Электрохимические и физико-механические свойства таких электродов практически не изучены. Это затрудняет работу по оптимизации конструкции НКА с волокновыми ОНЭ, состава активной массы положительных электродов и других технологических параметров, с целью повышения электрических и ресурсных характеристик НКА. Таким образом, изучение электрохимических и физико-механических закономерностей формирования оксидноникелевых электродов на волокновои полимерной основе является актуальным.

Цель данной работы - установление взаимосвязи между электрохимическими характеристиками оксидноникелевых электродов на волокновой основе и фазовыми превращениями в них при активировании различными добавками и разработка эффективного способа введения добавок в активную массу для повышения удельных характеристик НКА с волокновыми электродами.

Задачи исследования:

Изучить влияние добавок Со (II) и Zn (II) и способа их введения на электрические характеристики ОНЭ с волокновой основой.

Изучить фазовые преобразования в ОНЭ с волокновой основой при введении добавок кобальта (II) и цинка (II).

Изучить механизм совместного действия добавок Со (II) и Zn(II).

Разработать способ активации ОНЭ с волокновой основой.

Провести оптимизацию, и уточнить ряд технологических параметров изготовления ОНЭ с ОВС.

Изготовить и испытать макеты полупромышленных и промышленных образцов ОНЭ с волокновой основой.

Провести развернутые испытания макетов аккумуляторов с волокновыми ОНЭ.

Проработать экологические аспекты производства ОНЭ с волокновой основой.

Дать экономическое обоснование целесообразности производства и конкурентоспособности НКА с волокновыми ОНЭ.

На защиту выносятся: - результаты исследований взаимосвязи между физико-механическими и электрическими характеристиками металловолокновых электродов;

результаты исследования механизма совместного действия добавок Zn (II) и Со (II), комбинированного способа активации волокнового оксидноникелевого электрода;

оптимизированная технология изготовления ОНЭ с волокновой основой;

экологические аспекты производства ОНЭ с волокновой основой;

результаты испытаний макетов аккумуляторов полупромышленных и промышленных образцов с волокновыми ОНЭ, для железнодорожного и авиационного транспорта;

технологический регламент производства НКА с волокновыми ОНЭ. У

Научная новизна. Изучены электрохимические характеристики волокновых ОНЭ во взаимосвязи с их физико-механическими свойствами при различных режимах' изготовления, эксплуатации и процессов циклирования электродов. Обоснован принцип выбора активирующих добавок и способ их введения в состав волокнового ОНЭ. Изучен механизм активирующего действия добавок кобальта (II) и цинка'(II) в активную массу волокновых электродов. Дано теоретическое обоснование улучшения электрохимических характеристик электродов, изготовленных по «пастовой» технологии, в соответствии с моделью работы композитного электрода

Практическая ценность работы. Результаты исследований и опытно-промышленных испытаний являются основой новой более прогрессивной технологии производства никель-кадмиевых аккумуляторов с ОНЭ на волокновой основе, позволяющей значительно уменьшить расход никеля на изготовление электродов и существенно снизить вредные выбросы в воздушную среду и промышленные стоки. Кроме того, продолжительный срок службы делает аккумуляторы, изготовленные по предлагаемой технологии, конкурентоспособными на мировом рынке.

Развитые в работе представления о механизме активации ОНЭ различными соединениями позволили сбалансировать состав активной массы волокновых ОНЭ и обеспечить стабильно высокие удельные характеристики НКА на протяжении 1100 циклов (испытания на ресурс долговечности продолжаются). Новое поколение практически безотходных отечественных НКА с удельной энергией до 56 Вт-ч/кг; удельной мощностью до 600 Вт/кг и сроком службы не менее 10 лет, при наработке 1100 циклов, по классификации Международной Электротехнической Комиссии (МЭК) может быть отнесено к источникам тока стартерного назначения типа Н. Изготовлены и прошли успешные испытания НКА нескольких типов размеров для авиационного и железнодорожного транспорта. Создан и пущен в эксплуатацию комплекс технологического оборудования для изготовления волокновых ОНЭ.

Апробация работы. Материалы работы докладывались на юбилейной научно-технической конференции «Современные электрохимические технологии»; на Международной научно-технической конференции «100 лет Российскому автомобилю» (Москва); на Всероссийской конференции молодых ученых «Современные проблемы теоретической и экспериментальной химии», доклад отмечен дипломом первой степени); на XVI Менделеевском съезде по общей и прикладной химии (г. Санкт-Петербург); а также на межкафедральном научном семинаре.

Публикации. По результатам диссертации опубликовано 7 печатных работ, Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, выводов, списка литературы (150 наименований); изложена на 132. страницах машинописного текста; содержит 19 таблиц, 33 рисунка, 2 приложения.

Работа выполнялась в рамках основных научных направлений СГТУ. «Разработка научных основ технологии электрохимического модифицирования свойств активных материалов электродов функционального назначения», темы СГТУ-53, СГТУ-140.

Краткое содержание работы.

## ВВЕДЕНИЕ

Во введении обосновывается актуальность выбранной темы и формулируются цель и задачи исследования.

## ГЛАВА 1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

В первой главе проведен анализ литературных данных по современному состоянию технологий производства НКА с электродами на волокновой основе. Рассмотрены существующие типы конструкций и сферы применения, технологии изготовления волокновых Электродов, способы их заполнения активным материалом. Кроме того, рассматривается влияние соединений Со (II) и Zn (II), введенных в состав активной массы, на электрические характеристики ОНЭ, представлены современные материалы по теории работы ОНЭ. Отражены экологические проблемы производства традиционных ОНЭ и электродов с волокновой основой.

## ГЛАВА 2. ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ОКСИДНОНИКЕЛЕВЫХ ЭЛЕКТРОДОВ ВОЛОКНОВОЙ СТРУКТУРЫ

Во второй главе представлены результаты исследований электрохимических и физико-механических закономерностей формирования ОНЭ волокновой структуры. Как известно, значительное влияние на характеристики ОНЭ оказывает структура волокновой подложки, поэтому первоначально были изучены особенности процесса химического никелирования (слой никеля 0.5 мкм) и последующего электрохимического наращивания слоя никеля (до 5 мкм) на волокновых матрицах. Выбранный для процесса химического никелирования раствор содержит в своем составе аммиак и сернокислый никель, взаимодействие которых друг с другом, в присутствии гипофосфита натрия, приводит к образованию достаточного количества. Поэтому введение традиционной буферирующей добавки, как показали экспериментальные данные (табл.1) не является необходимым. Более того, с введением (NHSOi увеличивается удельное сопротивление основ, как до, так и после хранения.

Таблица 1

Зависимость удельного сопротивления основ волокновой

структуры от состава раствора химического никелирования

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Вариант изготовления заготовки | Ток I, (А)  | рср, (Ом-см) до хранения | рор, (Ом-см) после хранения |
| В присутствии (NH,) 2S04 | 0.1 | 0.301 | 2.146 |
| Без (NH4}>S04 | 0.1 | 0.137 | 0.837 |

Приведены средние значения из девяти измерений для каждого варианта.

Поэтому в дальнейшем волокновые ОНЭ были получены на полимерных основах, обработанных в растворах химического никелирования без добавления в них.

Изучение характеристик волокновых ОНЭ позволило установить, что эффективность заполнения активным материалом порового пространства волокновой матрицы зависит от исходной массы никелевого покрытия (рис.1), которая является произвольной толщины электрохимически осажденного слоя никеля. Согласно литературным данным, оптимальная толщина никелевого покрытия должна составлять 5 мкм. Однако экспериментальное подтверждение этому в литературе отсутствует.

## ГЛАВА 3. ВОЛОКНОВЫЕ ОКСИДНОНИКЕЛЕВЫЕ ЭЛЕКТРОДЫ И АККУМУЛЯТОРЫ НА ИХ ОСНОВЕ

Третья глава посвящена разработке волокновых оксидноникелевых электродов и аккумуляторов на их основе.

Согласно действующей технологии, в электроды прессованной и ламельной конструкций добавляют кобальт в виде порошка в смеси с гидроксидом никеля на стадии 10 приготовления активной массы; электроды металлокерамической конструкции пропитывают в растворе солей кобальта (II). Первый способ принципиально не выгоден ввиду ограниченного срока годности гидроксида кобальта: окисляясь кислородом воздуха, он со временем теряет свои активирующие свойства. Второй способ для изготовления пастированных электродов технологически не удобен.

С учетом специфики волокновой подложки в настоящей работе активный материал наносили на волокновую матрицу в виде пасты из полимерного водорастворимого связующего (ПВС), раствора соли кобальта и наполнителя (мелкодисперсного порошка). Это потребовало введения в технологический регламент параметров по вязкости ПВС и дисперсности наполнителя. Характерная особенность пасты состояла в том, что активирующая добавка вводилась в нее из водного раствора соли кобальта. Теоретическая емкость электродов составила 0.44 А-ч/см3 (98% от расчетной). Это свидетельствовало о высокой степени заполнения электродной основы пастой и явилось подтверждением ее оптимального реологического состава. Для подтверждения обнаруженного эффекта были проведены испытания макетов аккумуляторов, собранных в габаритах НКБН-25 из восьми волокновых ОНЭ и восьми кадмиевых электродов, изготовленных электрофоретическим способом на перфорированной никелевой ленте. В качестве сепаратора на положительном электроде использовали капрон, на отрицательном - два слоя фильтровального полотна Петрянова (ФПП). Уже на втором цикле формировки отдаваемая аккумуляторами емкость достигла 32.93 А-ч, коэффициент использования составил 77%, а удельная энергия 41.3. Вт-ч/кг. К десятому циклу макеты были полностью расформированы, обладая следующими характеристиками; емкость 38.4 А-ч, коэффициент использования активной массы 89%, удельная энергия 48 Вт-ч/кг.

На следующем этапе было проведено сравнительное исследование способа введения добавки кобальта в активную массу. Как показали испытания (табл.2, рис.4) при введении добавки кобальта (II) в ОНЭ из раствора его соли C0SO4 аккумуляторы обладают значительными преимуществами: при токе разряда 12.5. А=0.5С„ удельная энергия Wi макетов первого варианта на 14% больше удельной энергии W макетов второго и третьего вариантов, когда кобальт вводился в активную массу ОНЭ в виде металлического порошка или гидроксида кобальта; при разрядах большими токами превышение W! над W2 и W3 составило 23% и 31% соответственно.

Таблица 2

Удельная энергия (W) и емкость (С) аккумуляторов с

основами волокновой структуры в зависимости от тока

разряда и способа введения кобальта

|  |  |
| --- | --- |
| Активатор | Ток разряда |
|  | 8 А | 12.5А | 25 А | 50 А | 125 А |
|  | С, (А-ч)  | W, (Вт-ч/кг)  | С, (А-ч)  | W, (Вт-ч/кг)  | с,(А-ч)  | W, (Вт-ч/кг)  | С, (А-ч)  | W, (Вт-ч/кг)  | С, (А-ч)  | W, (Вт-ч/кг)  |
| CoSO„ | 37.58 | 47.9 | 32.02 | 40.86 | 31.54 | 40.2 | 27.54 | 35.6 | 21.24 | 27.34 |
| Сомет | 28.26 | 35.7 | 27.7 | 35 | 25.5 | 32.21 | 21.7 | 27.4 | - | - |
| Со(ОН) 2 | 27.5 | 35.47 | 26.62 | 34.37 | 23.95 | 30.9 | 18.97 | 24.5 | - | - |

По своим удельным характеристикам такие аккумуляторы превосходят традиционные НКА и только при больших токах металлокерамической конструкции Испытания по режиму МЭК макетов НКА с волокновыми ОНЭ, изготовленными согласно вариантам таблицы 2, показали, что после 1100 зарядно-разрядных циклов не произошло сколько-нибудь существенного снижения емкости. Более резкое смещение напряжения в отрицательную сторону у аккумуляторов третьего варианта при жестких режимах (рис.3) можно объяснить наличием лучше сформированной фазы y NiOH, обнаруженной рентгенографически (табл.3), которая приводит к возникновению фазовой поляризации. Причиной фазовой поляризации может быть различие в кристаллической структуре продуктов анодного окисления (y-NiOOH - ромбоэдрическая структура) и катодного восстановления (Ni(OH) 2 - гексагональная структура). При введении добавки кобальта по второму варианту дополнительной фазовой поляризации не возникает. Повышение электрохимической активности намазного ОНЭ волокновой структуры при введении в него добавки кобальта (II) из раствора соли C0SO4 связано с возможностью полного и равномерного активирования поверхности оксидов никеля именно к моменту начала образования фазы NiOH. Плохо растворимые в щелочи металлический Со и Со (ОН) 2 не могут обеспечить столь равномерного первичного распределения.

По степени положительного влияния на ресурс долговечности аккумуляторов способы активирования гидроксида никеля (II) кобальтом можно расположить в ряд: раствор C0SO4 (более 1100 циклов) Со мет (600 циклов) => Со(ОН) 2 (300 циклов). Это согласуется с представлениями о замедлении процесса образования фаз p-NiOOH и у-NiOOH в ОНЭ, активированных кобальтом.

Проведенные исследования позволили упростить технологию приготовления активных масс, снять ограничения по сроку сохранности кобальтсодержащей добавки и сократить продолжительность формировки аккумуляторов до двух циклов. Повышение мощности и емкости НКА с волокновыми ОНЭ позволяет значительно расширить сферу их применения. Уже сейчас такие батареи могут быть использованы для запуска авиационных, карбюраторных и тепловозных дизельных двигателей, в электротранспорте промышленных предприятий, в радиопередатчиках и сигнальных установках.

Результаты ресурсных испытаний макетов НКА с волокновыми ОНЭ показали, что введение дополнительно добавки цинка (II) одним из следующих способов:

активация порошкообразными металлическим кобальтом (Co/Ni - 3.5%) и оксидом цинка ZnO (Zn/Ni - 2%);

активация сульфатами кобальта (Co/Ni - 3.5%) и цинка (Zn/Ni - 2%), введенными через раствор;

Совокупность полученных экспериментальных данных позволяет предположить следующий механизм влияния Со и Zn на характеристики ОНЭ волокновой конструкции. При введении в состав активного материала вышеназванных соединений в ходе циклирования НКА происходит образование зародышей гидроксидов Со(ОН) 2 и Zn(OH) 2, осаждающихся на поверхностных гранях кристаллов Ni(OH) 2. Скорость их образования тем выше, чем лучше растворимость изначально выбранного соединения. Далее действует механизм, описанный.

Образующиеся гидроксокомплексы двухвалентного кобальта окисляются до СоН02. Общеизвестно, что кобальт препятствует возникновению хорошо сформированной фазы y-NiOOH, межслоевое пространство которой содержит катионы щелочи и воду. По причине того, что СоНО в условиях работы ОНЭ не вступает в химическое взаимодействие с калием, кобальт, располагаясь на определенных гранях кристаллов гидроксида никеля, препятствует вхождению в него катионов щелочи.

Малое количество и плохая сформированность y-NiOOH в присутствии кобальта приводят к понижению степени окисленности никеля как в разряженном, так и в заряженном состоянии. Следствием этого является углубление процесса разряда электродов, который сопровождается параллельным ростом величины удельной поверхности активной Массы и ее коэффициента использования.

Помимо этого ионы кобальта влияют и на макроструктуру активного материала, препятствуя агрегации (укрупнению) кристаллитов и «старению» ОНЭ. Следовательно, ионы кобальта играют роль поверхностного активатора ОНЭ. С другой стороны малорастворимый гидроксид цинка, осадившийся на поверхности кристаллов Ni(OH) 2, в начальный момент, играет роль барьера для диффузии протонов как из кристаллической решетки в процессе заряда, так и внутрь структуры гидроксида никеля при разряде (Рис.6 а). Этим и обусловлены низкие характеристики аккумуляторов на первых циклах наработки. Однако при дальнейшем циклировании цинк (II), по-видимому, постепенно переходит в щелочной электролит и вместе с гидратной оболочкой внедряется в кристаллическую решётку гидроксида никеля при заряде ОНЭ. Располагаясь в основных слоях структуры и межслоевом пространстве (Рис.6 б), он способствует образованию водородных связей, обнаруженных экспериментально методом ИК - спектроскопии (рис.7). Это облегчает диффузию протонов через границу раздела фаз оксид/раствор. С другой стороны, снижение электростатических сил отталкивания между основными слоями стабилизирует структуру активного материала и препятствует процессам «старения» и перекристаллизации в ходе циклирования. Наличие же «структурной» воды в межслоевом пространстве кислородных соединений никеля обнаруженной дериватографическим методом (рис.8), увеличивает скорость диффузии протонов при разряде, что улучшает стартерные ха рактеристики НКА (рис.5) с водокновыми ОНЭ. Таким образом, цинк (II), согласно терминологии Ежова Б.Б., можно считать эффективным внутриструктурным активатором. Разработанные аккумуляторы имеют высокие удельные параметры. Их емкость до 203 А-ч и удельная энергия до 56 Вт-ч/кг при нормальных климатических условиях эксплуатации вдвое превосходят емкость и удельную энергию выпускаемых в настоящее время ОАО «Завод АИТ» аналогов в тех же габаритах (KPL70P и КМ 100Р).

Испытания и работы в данном направлении будут продолжены, так как предлагаемая технология изготовления волокнового ОНЭ делает возможным значительное сокращение расхода дорогостоящих никеля и кадмия, а результаты ранее проведенных испытаний макетов, изготовленных в габаритах авиационного аккумулятора НКБН-25, позволяют надеяться на больший срок службы этих аккумуляторов (до 1500 циклов). Предполагается продолжить работы в направлении создания НКА с волокновыми ОНЭ для вагонов с кондиционированием и без кондиционирования воздуха, так как применение волокновых основ решает целый ряд проблем, связанных с освоением этого рынка изделий.

Таблица 6

Массогабаритные характеристики аккумуляторов с

волокновыми оксидноникелевыми электродами и

аккумуляторов КН150Р, КМ100Р, KPL70P

|  |  |
| --- | --- |
| Параметры | Тип аккумулятора |
| КН150Р | КМ 1 OOP | KPL70P | НКА с волокновыми ОНЭ |
| Масса, (кг)  | 11.6 | 4 | 3.9 | 4.35 |
| Объем, (дм3)  | 6.7 | 1.875 | 1.875 | 1.875 |
| Емкость, (А-ч)  | 320 | 100 | 70 | 190 |
| Удельная массовая емкость, (А-ч/кг)  | 28 | 25 | 18 | 44 |
| Удельная объемная емкость, (А-ч/дм3)  | 48 | 53 | 37 | 101 |

## ГЛАВА 4. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА ОКСИДНОНИКЕЛЕВЫХ ЭЛЕКТРОДОВ НА ВОЛОКНОВОЙ ОСНОВЕ

В четвертой главе проработаны экологические аспекты производства НКА с волокновыми ОНЭ. Предлагаемая в работе схема позволяет замкнуть технологический процесс путем возврата никельсодержащих сточных вод в производство, что делает изготовление НКА с волокновыми ОНЭ экологически безопасным. Не представляется затруднительной и проблема утилизации отработанных аккумуляторов, повышенный ресурс которых гарантирует уменьшение попадания вредных соединений кадмия и никеля в окружающую среду.

## ВЫВОДЫ

Проведена оптимизация раствора химического никелирования в части, относящейся к его составу. Экспериментально было доказано, что введение сернокислого аммония в качестве буферирующей добавки в состав раствора химического никелирования нежелательно. Избыточное содержание этого компонента негативно сказывается на качестве металлопокрытия. Необходимое для протекания реакции восстановления ионов никеля количество сернокислого аммония образуется вследствие взаимодействия аммиака и сернокислого никеля.

Проведена статистическая обработка данных по специально разработанной методике, которая позволила определить оптимальную толщину никелевого покрытия, нанесенного электрохимически, в пределах 5.85-7.54 мкм.

На основании полученных экспериментальных данных и теоретических предположений, изложенных в форме научной гипотезы, развиты представления о внеструктурном механизме активации волокнового ОНЭ кобальтом (II) и внутриструктурном - цинком (И). Эти предположения подтверждены экспериментально, что позволило сбалансировать состав активной массы волокновых электродов, и обеспечить стабильно высокие удельные характеристики НКА с волокновыми ОНЭ на протяжении 1100 циклов. Испытания продолжаются.

Показано, что емкость и удельная энергия НКА с волокновыми ОНЭ (до 56 Вт-ч/кг при нормальных климатических условиях эксплуатации) в полтора-два раза превосходят емкость и удельную энергию выпускаемых в настоящее время ЗАО «НИИХИТ» и ОАО «Завод АИТ» аналогов в тех же габаритах и того же назначения (НКБН-25, KPL70P, КМ100Р, КН150Р).

Изготовленное оборудование (линия никелирования волокновых основ, установка приготовления пасты активного материала, устройство для заполнения волокновых основ) по результатам опытно-промышленной проверки позволяет выйти на крупносерийный уровень производства. Созданное оборудование позволяет изготавливать электроды в широком массогабаритном диапазоне. Это делает предлагаемую технологию более мобильной и универсальной.

Дано экономическое обоснование производства НКА с волокновыми ОНЭ. Более высокие удельные характеристики НКА с волокновыми ОНЭ по сравнению с НКА, изготовленными по традиционной технологии, позволяют сократить вдвое расход дорогостоящего никеля (в виде Ni(OH) 2), кадмия и других материалов, необходимых для изготовления НКА. По стоимости изделий разработанная технология находится на одном уровне с «ламельной».

Разработана схема возврата сточных вод после проведения операций химического (стадия сорбции никеля) и электрохимического никелирования. Достоинством предлагаемого процесса переработки отработанного раствора является возможность использовать для извлечения катионов никеля промывную воду после гальванического никелирования основ и по расходу никеля замкнуть технологический процесс, что не осуществимо в случае применения традиционных методов химической металлизации. Проведенные предварительные исследования по утилизации ОНЭ позволили предложить технологию получения никелевой фольги.

Основное содержание диссертации изложено в следующих работах:

Влияние способа введения гидроксида кобальта на электрохимическую активность оксидно-никелевого электрода волокновой структуры / Волынский В.В., Степанов А.Б., Радкевич Ю.Б. Попова С. С, Шараевский А.П. // Современные электрохимические технологии СЭХТ: Тез. докл. научн. -техн. конф. - С.144.

Потенциометрия электродов из никелированных войлоков / Мосидзе Н. С, Волынский В.В., Распопова Г.А., Попова С. С, Радкевич Ю.Б. // Современные электрохимические технологии СЭХТ-96: Тез. докл. научн. -техн. конф., Энгельс. - С.112-114.

Разработка высокомощного никель-кадмиевого аккумулятора с оксидно-никелевым электродом волокновой структуры / Волынский В.В., Степанов А.Б., Радкевич Ю.Б., Попова С.С. // 100 лет Российскому автомобилю. Промышленность и высшая школа. Тез. докл. Междунар. Науч. -техн. конф., Москва. -С.114.

Волынский В.В., Попова С.С. Зависимость электрохимических характеристик никель-кадмиевых аккумуляторов с окисноникелевыми волокнистыми электродами от температуры и плотностей тока разряда // Современные проблемы теоретической, и экспериментальной химии. Министерство общего и профессионалъного образования РФ. Тез. докл. Всероссийской конференции молодых ученых. С.297

Волынский 6. В, Попова С.С. Технологические особенности заполнения электродных основ волокновой структуры для никель-кадмиевых аккумуляторов пастой активного материала // XVI Менделеевский съезд по общей и прикладной химии. Санкт-Петербург, 1998. - Т.2. - С.553-554.

Кинетические и технологические закономерности процессов, протекающих при утилизации отработанных оксидноникелевых электродов/ Попова С. С, Целуй-кина Г.В., Мизенцова М.А., Волынский В.В. // XVI Менделеевский съезд по общей и прикладной химии. Санкт-Петербург, 1998. - Т.2 - С.143-144.

Волынский В.В., Попова С.С. Металловоилочные гидроксидноникелевые электрод с повышенными удельными характеристиками.

