

**Отзыв научного руководителя
на диссертационную работу Белецкого Евгений Всеволодовича на соискание
научной степени кандидата химических наук
по специальности 1.4.6. Электрохимия**

**«ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ЛИТИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ ПРИ
ПОМОЩИ ПОЛИМЕРНЫХ СЛОЕВ ПЕРЕМЕННОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ»**

Кандидатская работа Белецкого Е.В. посвящена решению важной проблемы в сфере эксплуатации литий-ионных аккумуляторов (ЛИА), а именно повышению их взрыво- и пожаробезопасности. Использование в этих системах активных окислителей и восстановителей вместе с органическими электролитами несёт в себе риск возгорания и взрыва, что может привести к разрушениям и травмам. Известно несколько вариантов защитных стратегий: «внешняя» при помощи электронных систем контроля и управления – СКУ (применяется в промышленности) и «внутренняя», направленная на модификацию составных частей аккумулятора.

Основное содержание диссертационной работы Белецкого Е.В. составляет разработка и апробация нового механизма химической защиты аккумулятора, основанного на принципе размыкания цепи внутри литий-ионного аккумулятора при возникновении нештатных режимов работы, вызванных превышением напряжения или температуры. Для этой цели было предложено использовать защитный слой из электропроводящего полимера, расположенного на катоде между токоподводом и активной массой. Механизм такого способа защиты заключается в увеличении сопротивления аккумулятора за счет увеличения сопротивления защитного слоя при выходе потенциала катода за пределы окна допустимых значений и/или превышении пороговой температуры. В результате исследований, проведенных Белецким Е.В., была получена широкая база данных по изменению электропроводности различных проводящих полимеров в зависимости от температуры и приложенного потенциала. Был осуществлен мотивированный выбор полимера, подходящего для использования в качестве защитного слоя. Полученные фундаментальные результаты легли в основу прикладных исследований, составляющих большую часть диссертационной работы. Было протестировано влияние защитных слоёв на электрохимические свойства катодов на основе коммерчески доступных материалов, и выполнено масштабирование технологии для получения макета аккумулятора, демонстрирующего эффективность защиты. В ходе работы Белецким Е.В. была разработана и

масштабирована методика нанесения полимера на алюминиевую фольгу для потокового нанесения защитного слоя на токовыводы. На основании полученных в диссертационной работе данных была произведена апробация защитного механизма на электрохимических системах, применяемых в своем производстве на аккумуляторном заводе АО «АК «Ригель». Тестирование поведения защищенных аккумуляторов, собранных на мощностях этого предприятия из предоставленных Е.В. Белецким материалов, показало отсутствие возгорания аккумуляторов при внешней деформации и коротком замыкании, что подтвердило эффективность предложенной стратегии защиты.

Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на конференциях:

1. XII Международная научная конференция «Современные методы в теоретической и экспериментальной электрохимии». Россия, г. Плес, 13.09.2021 - 17.09.2021. «Резистивный проводящий полимерный слой для защиты от перезаряда литий – ионных аккумуляторов» (устный доклад).

2. 72nd Annual Meeting of the International Society of Electrochemistry. South Korea, Jeju, 29.08.2021 – 03.09.2021. «Methyl-substituted NiSalen-type polymer layer for overcharge protection of lithium-ion batteries» (постерный доклад).

3. XII Международная научно - практическая конференция студентов и молодых ученых «Химия и химическая технология в XXI веке». Россия, г. Томск, 17.05.2021 - 20.05.2021. «Резистивный проводящий полимерный слой для защиты от перезаряда литий – ионных аккумуляторов» (устный доклад).

4. Международная конференция по естественным и гуманитарным наукам – «Science SPbU – 2020». Россия, г. Санкт - Петербург, 25.12.2020 - 25.12.2020. «Поведение катода литий - ионного аккумулятора на основе LiFePO₄ в условиях разных режимов перезаряда» (устный доклад).

5. XXI Mendeleev Congress on General and Applied Chemistry. Россия, г. Санкт - Петербург, 09.09.2019 - 13.09.2019. «Nickel - salen - type polymers conductivity under overoxidation».

По материалам диссертации опубликовано 12 печатных работ, из них 7 – в реферируемых журналах, 5 тезисов по материалам конференций, наиболее значимые из публикаций:

6. Beletskii E. V, Alekseeva E. V, Levin O. V. Variable resistance materials for lithium-ion batteries // RUSS CHEM REV. 2022. Vol. 91, № 3. P. RCR5030. Квартиль журнала – Q1. Импакт-фактор журнала – 6,92.

7. Beletskii E. V., Fedorova A.A., Lukyanov D.A., Kalnin A.Y., Ershov V.A., Danilov S.E., Spiridonova D. V., Alekseeva E. V., Levin O. V. Switchable resistance conducting-polymer layer for

Li-ion battery overcharge protection // J. Power Sources. Elsevier B.V., 2021. Vol. 490. P. 229548. Квартиль журнала – Q1. Импакт-фактор журнала – 9,13.

8. Beletskii E. V, Kal'nin A.Y., Luk'yanov D.A., Kamenskii M.A., Anishchenko D. V, Levin O. V. A Polymer Layer of Switchable Resistance for the Overcharge Protection of Lithium-Ion Batteries // Russ. J. Electrochem. Springer, 2021. Vol. 57, № 10. P. 1028–1036. Квартиль журнала – Q4. Импакт-фактор журнала – 1,03.

9. Beletskii E., Ershov V., Danilov S., Lukyanov D., Alekseeva E., Levin O. Resistivity-Temperature Behavior of Intrinsically Conducting Bis(3-methoxysalicylideniminato)nickel Polymer // Polymers . 2020. Vol. 12, № 12. Квартиль журнала – Q1. Импакт-фактор журнала – 4,33.

10. Beletskii E., Alekseeva E., Spiridonova D., Yankin A., Levin O. Overcharge Cycling Effect on the Surface Layers and Crystalline Structure of LiFePO₄ Cathodes of Li-Ion Batteries // Energies. 2019. Vol. 12. P. 4652. Квартиль журнала – Q2. Импакт-фактор журнала – 3,00.

11. Beletskii E. V, Volosatova Y.A., Eliseeva S.N., Levin O. V. The Effect of Electrode Potential on the Conductivity of Polymer Complexes of Nickel with Salen Ligands // Russ. J. Electrochem. 2019. Vol. 55, № 4. P. 339–345. Квартиль журнала – Q4. Импакт-фактор журнала – 1,03.

12. Yankin A., Lukyanov D., Beletskii E., Bakulina O., Vlasov P., Levin O. Aryl-Aryl Coupling of Salicylic Aldehydes through Oxidative C-H activation in Nickel Salen Derivatives // ChemistrySelect. 2019. Vol. 4. P. 8886–8890. Квартиль журнала – Q2. Импакт-фактор журнала – 2,11.

Так же получены два патента:

1. Белецкий Е.В., Левин О.В., Лукьянов Д.А. Электрод для защиты от повреждений аккумулятора при коротком замыкании: pat. RU2773501, 2022.

2. Белецкий Е.В., Левин О.В., Лукьянов Д.А. Электрод с защитным подслоем для предотвращения разрушения при возгорании литий-ионных аккумуляторов: pat. RU2726938, 2020.

Стоит отметить, что Белецкий Е.В. является идейным вдохновителем и соавтором реализованной в диссертационной работе идеи по созданию нового способа защиты ЛИА. Он имеет хорошую научную и практическую подготовку, до поступления в аспирантуру СПбГУ он работал на исследовательских должностях в различных батарейных компаниях, например, в АО «АК «Ригель», где решал проблемы безопасности литий-ионных аккумуляторов. В процессе выполнения диссертационной работы Белецкий Е.В. проявил ответственность, скрупулезность, самостоятельность. Работа выполнена на высоком научном уровне, посвящена актуальной теме и содержит оригинальные результаты. Все перечисленные выше результаты имеют очевидную

практическую значимость. По одному из полученных патентов уже заключено лицензионное соглашение с производителем литий-ионных аккумуляторов.

Считаю, что Белецкий Е.В. заслуживает присуждение ученой степени кандидата химических наук.

Научный руководитель
доктор химических наук,
профессор кафедры электрохимии

Левин О.В.

05.08.2022

