

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**  
**БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
**ХИМИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ**  
**Кафедра неорганической химии**

ПАТЕРУХА Полина Александровна

**ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ Cu-Ni  
НА СВОЙСТВА ТОКОПРОВОДЯЩИХ МЕТАЛЛ-ГРАФЕН-  
НАПОЛНЕННЫХ ПОЛИАКРИЛАТНЫХ ПОКРЫТИЙ**

Дипломная работа

Научный руководитель:  
доктор химических наук, профессор  
Т.Н. Воробьева

Допущена к защите  
«\_\_\_» июня 2025 г.  
Заведующий кафедрой неорганической химии  
доктор химических наук  
член-корр. НАН Беларуси, профессор  
Д.В. Свиридов

Минск, 2025

## РЕФЕРАТ

**Структура и объем дипломной работы.** Дипломная работа состоит из перечня условных обозначений и сокращений, введения, трех глав, заключения и литературного списка. Полный текст работы составляет 45 стр., в ней содержится 10 рисунков, 9 таблиц. Список литературных источников включает 51 наименование.

**Ключевые слова:** частицы ядро-оболочка Cu@Ni, биметаллический порошок, графеновые нанопластины, проводящие полимеры, полиакрилат, коррозионная устойчивость, адгезия, электропроводность, морфология.

**Объекты исследования** – частицы порошка меди с оболочкой из никеля, токопроводящие металл-графен-наполненные полиакрилатные покрытия.

**Предмет исследования** – влияние состава, структуры и содержания частиц Cu@Ni в полиакрилатном связующем на морфологию, электропроводность, адгезию и коррозионную устойчивость биметалл-графен-наполненных покрытий.

**Цель исследования** – получить ультрадисперсные частицы меди с оболочкой из никеля для применения в качестве наполнителя токопроводящих полиакрилатных покрытий и определить влияние состава, структуры и содержания этих частиц в покрытиях на их морфологию, электропроводность, адгезию и коррозионную устойчивость.

**Методы исследования:** рентгенофлуоресцентный анализ, СЭМ, ПЭМ, РФА, EDX, вольтамперометрия, измерение удельного электросопротивления покрытий и их адгезии к стеклу.

**Полученные результаты и их новизна.** Получены электропроводящие полиакрилатные покрытия, наполненные биметаллическими частицами Cu–Ni со структурой ядро – рыхлая оболочка и ГНП, на подложках из силикатного стекла. Наиболее низкие и воспроизводимые значения объемного удельного электросопротивления показали покрытия, содержащие биметаллические частицы с долей никеля 5,2 масс% Ni при соотношении компонентов: 20 масс. % Cu-Ni, 40 масс. % наночастиц графена и 40 масс. % полимера. Эти же покрытия имеют максимальную адгезию к стеклу и лучшую коррозионную устойчивость.

**Область возможного практического применения.** Токопроводящие металл-графен-наполненные покрытия на стекле могут найти применение в изготовлении печатных электро- и теплопроводящих элементов изделий электронной техники, нагревательных элементов, датчиков температуры и давления, конденсаторов, и для защиты от электромагнитных помех.

## РЭФЕРАТ

**Структура і аб'ём дыпломнай працы.** Дыпломная праца складаецца з пераліку умоўных пазначэнняў і скарачэнняў, ўвядзення, трох глаў, заключэння і літаратурнага спісу. Поўны тэкст працы складае 45 стар., у ёй утрымліваецца 10 малюнкаў, 9 табліц. Спіс літаратурных крыніц уключае 51 найменне.

**Ключавыя словы:** часціцы ядро-абалонка Cu@Ni, біметалічны парашок, графенавыя нанопластыны, праводзячыя палімеры, поліакрылат, каразійная ўстойлівасць, адгезія, электраправоднасць, марфалогія.

**Аб'екты даследавання** – часціцы парашка медзі з абалонкай з нікеля, токаправодныя метал-графен-напоўненыя поліакрылатныя пакрыцця.

**Прадмет даследавання** – уплыў складу, структуры і утрыманне часціц Cu@Ni ў поліакрылатнае злучнае на марфалогію, электраправоднасць, адгезію і каразійную ўстойлівасць біметалаў-графен-напоўненых пакрыццяў.

**Мэта даследавання** – атрымаць ультрадысперсныя часціцы медзі з абалонкай з нікеля для прымянення ў якасці напаўняльніка токаправодных поліакрылатных пакрыццяў і вызначыць уплыў складу, структуры і складу гэтых часціц у пакрыццях на іх марфалогію, электраправоднасць, адгезію і каразійную ўстойлівасць.

**Метады даследавання:** рентгенафлуарэсцэнтны аналіз, СЭМ, ПЭМ, РФА, EDX, вольтампераметрыя, вымярэнне ўдзельнага электрасупраціўлення пакрыццяў і іх адгезіі да шкла.

**Атрыманыя вынікі і іх навізна.** Атрыманы электраправодныя поліакрылатныя пакрыцця, напоўненыя біметалічнымі наначасціцамі Cu–Ni са структурай ядро – друзлая абалонка і ГНП, на паверхне з сілікатнага шкла. Найбольш нізкія і прайграваныя значэння аб'ёмнага ўдзельнага электрасупраціўлення паказалі пакрыцця, якія змяшчаюць біметалічныя часціцы з доляй нікеля 5,2 мас.% Ni пры суадносінах кампанентаў: 20 мас. % Cu-Ni, 40 мас. % часціц ГНП і 40 мас. % палімер. Гэтыя ж пакрыцця маюць максімальную адгезію да шкла і лепшую каразійную ўстойлівасць.

**Вобласць магчымага практычнага прымянення.** Токаправодныя метал-графен-напоўненыя пакрыцця на шкле могуць знайсці прымяненне ў вырабу друкаваных электра – і цеплаправодных элементаў вырабаў электроннай тэхнікі, награвальных элементаў, датчыкаў тэмпературы і ціску, кандэнсатараў і для абароны ад электрамагнітных перашкод.

## ABSTRACT

**The structure and scope of the thesis.** The thesis consists of a list of symbols and abbreviations, an introduction, three chapters, a conclusion and a literary list. The full text of the work is 45 pages, it contains 10 figures, 9 tables. List of literary sources includes 51 titles.

**Keywords:** Cu@Ni core-shell particles, bimetallic powder, graphene nanoplastics, conductive polymers, polyacrylate, corrosion resistance, adhesion, electrical conductivity, morphology.

**The objects of research** are particles of copper powder with a nickel shell, conductive metal-graphene-filled polyacrylate coatings.

**The subject of the study** is the influence of the composition, structure, and content of Cu@Ni particles in polyacrylate binders, it affects the morphology, electrical conductivity, adhesion, and corrosion resistance of bimetal graphene-filled coatings.

**The aim of the study** was to obtain ultrafine copper particles with a nickel shell for use as a filler for conductive polyacrylate coatings and to determine the effect of the composition, structure and content of these particles in coatings on their morphology, electrical conductivity, adhesion and corrosion resistance.

**Research methods:** X-ray fluorescence analysis, SEM, TEM, X-ray diffraction, EDX, voltammetry, measurement of the electrical resistivity of coatings and their adhesion to glass.

**The results obtained and their novelty.** Electrically conductive polyacrylate coatings filled with bimetallic Cu–Ni nanoparticles with a core–loose shell structure and GNP, on silicate glass substrates have been obtained. The lowest and reproducible values of the volumetric electrical resistivity were shown by coatings containing bimetallic parts with a nickel content of 5.2 wt.%, with a component ratio of 20 wt. % Cu-Ni, 40 wt. % of graphene nanoparticles and 40 wt. % of the polymer. These same coatings have maximum adhesion to glass and better corrosion resistance.

**The area of possible practical application.** Conductive metal-graphene-filled coatings on glass can be used in the manufacture of printed electrical and heat-conducting elements of electronic products, heating elements, temperature and pressure sensors, capacitors, and for protection against electromagnetic interference.