

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Бичка Ігоря Богдановича

«Каталітичні властивості вуглецевих наноматеріалів у реакціях гідрування органічних речовин»,

подану на здобуття наукового ступеня доктора хімічних наук за спеціальністю 02.00.15 – хімічна кінетика і каталіз(102 – Хімія)

Важливість і актуальність дисертаційної роботи.

Однією з актуальних наукових задач сучасної хімії є створення нових каталізаторів, які за своїми експлуатаційними характеристиками мають перевершувати існуючі. Особливий науковий інтерес у цьому контексті становлять вуглецеві наноматеріали, зокрема вуглецеві нанотрубки, графеноподібні структури та інші наноструктуровані форми вуглецю. Це зумовлено їхніми унікальними структурними характеристиками, такими як висока питома поверхня, можливість керованої функціоналізації поверхні, а також значна хімічна та термічна стабільність. Завдяки таким характеристикам вуглецеві наноматеріали розглядаються як перспективні каталізатори та носії каталізаторів у багатьох хімічних процесах, зокрема у реакціях гідрування органічних сполук, що мають важливе значення для нафтохімії, тонкого органічного синтезу та виробництва функціональних матеріалів.

Розвиток ефективних каталітичних систем на основі вуглецевих наноматеріалів та їх практичне використання у каталітичних процесах неможливе без встановлення закономірностей їх формування, структури та поверхневої хімії, а також без розуміння взаємозв'язку між морфологією, дефектністю структури, природою функціональних груп поверхні та їх каталітичними властивостями.

Все це обумовлює актуальність проведених дисертантом досліджень метою яких було створення принципово нових каталізаторів на основі вуглецевих наноматеріалів з контрольованими характеристиками. В результаті роботи було створено ряд нових високоактивних та селективних каталізаторів на базі вуглецевих матеріалів для процесів гідрування органічних сполук в газовій та рідкій фазах та реакцій дегідрування. Розроблені каталізатори можуть бути основою для створення ефективних каталітичних технологій, які характеризуються зменшенням витрат енергетичних і сировинних ресурсів. Відомо, що вуглецеві матеріали широко використовуються як носії при приготуванні нанесених металічних каталізаторів для цих процесів. Автором було показано, що рахунок ефекту взаємодії метал-носій, при нанесенні активного металу на каталітично активний вуглецевий носій, можна значно підвищити каталітичну активність каталізатора та зменшити вміст металу в каталізаторі. Так встановлено, що каталізатор 3 % Fe_xO_y/ВНТ є перспективним для застосування в реакції водяного зсуву, а Ni/ВНТ зразки для процесів

дегідрування етану та гідрування нітротолуолу та метилстиролу в рідкій фазі. Одержані дані відкривають шлях до створення сучасних високоактивних нанесених каталізаторів з низьким вмістом цінних металів. В роботі виявлено деякі фактори в структурі та хімії поверхні вуглецевих матеріалів та запропоновано підходи, які враховують ці параметри та дозволяють синтезувати ефективні каталізatori на основі нанорозмірних вуглецевих матеріалів.

Зв'язок дисертаційної теми з державними чи галузевими науковими програмами, пріоритетними напрямками розвитку науки і техніки.

Актуальність даної роботи також підтверджується тим, що дослідження проводились в рамках наукових держбюджетних тем. А саме, в рамках цільових комплексних програм наукових досліджень НАН України «Розробка фундаментальних основ створення ефективних нанофазних каталізаторів гетерогенно-каталітичних процесів нетрадиційної енергетики» (№ держреєстрації 0107U000405); «Отримання водню з відновлювальної сировини: розробка високотемпературних каталізаторів» (№ держреєстрації 0109U004660); в рамках цільової програми наукових досліджень НАН України «Фундаментальні проблеми водневої енергетики»; «Фізико-хімічні засади створення гетерогенно-каталітичних процесів і каталізаторів для одержання водню з твердої відновлюваної сировини» (№ держреєстрації 0111U008345); в рамках цільової програми наукових досліджень НАН України «Водень в альтернативній енергетиці та новітніх технологіях»; «Розробка селективного гетерогенно-каталітичного процесу отримання ароматичних амініонітрilів для виробництва полімерних композиційних матеріалів» (№ держреєстрації 0117U002821) в рамках цільової програми наукових досліджень НАН України «Нові функціональні речовини і матеріали хімічного виробництва»; в рамках тем відомчого замовлення НАН України: «Фізико-хімічні засади створення нанокompозитних каталізаторів на основі вуглецевих нанотрубок та графенів для гетерогенно-каталітичних процесів гідрування та кислотно-основних перетворень» (№ держреєстрації 0120U101549); «Розробка нановуглецевого каталізатору, який не містить благородних металів, для селективного гідрування домішок ацетилену в етилені» (№ держреєстрації 0119U101706); «Фізико-хімічні засади створення нанокompозитних каталізаторів на основі наночастинок металів та їх оксидів для гетерогенно-каталітичних процесів отримання ненасичених вуглеводнів та ефірів» (№ держреєстрації 0116U000061); «Розроблення фізико-хімічних засад створення нових нанорозмірних матеріалів різного функціонального призначення і процесів за їх участю» (№ держреєстрації 0117U004521) в рамках цільової програми наукових досліджень Відділення хімії НАН України «Фундаментальні дослідження за пріоритетними напрямками в хімії»; в рамках проектів «Дизайн та розробка цеолітанановуглець-вмісних каталізаторів із покращеним масоперенесенням для новітньої енергетики на основі водню та метанолу» (№ держреєстрації

0120U104708) та «Нові підходи до кінетики гетерогенно-каталітичних процесів» (№ держреєстрації 0124U003775).

Головна мета дисертаційної роботи Бичка І.Б. полягає у з'ясуванні впливу структури та функціонального складу поверхні вуглецевих наноматеріалів та синтезованих на їх основі каталізаторів на перебіг гетерогенно-каталітичних процесів гідрування органічних речовин та виявленні основних чинників, які забезпечують каталітичну активність вуглецевих наноматеріалів у процесах гідрування та дегідрування.

Для досягнення поставленої мети автору потрібно було розв'язати ряд завдань, пов'язаних із розробкою методик синтезу вуглецевих наноматеріалів та нанорозмірних каталізаторів на їх основі з регульованими структурними та функціональними характеристиками, встановленням структурних характеристик та функціонального складу поверхні одержаних наноматеріалів, виявленням основних чинників, які визначають каталітичну активність вуглецевих наноматеріалів у процесах гідрування, з'ясувати основні чинники, що забезпечують високу каталітичну активність вуглецевих наноматеріалів у процесах дегідрування.

Обґрунтованість та достовірність наукових положень та результатів.

Наведені в дисертаційній роботі основні наукові положення ґрунтуються на літературних даних і на власних експериментальних та теоретичних результатах автора. Дисертаційна робота Бичка І.Б. є логічно викладеним, завершеним науковим дослідженням, яке представлено у вигляді кваліфікаційної наукової праці на правах рукопису за сукупністю наукових статей згідно з п. 1.2. постанови Кабінету Міністрів України від 17 листопада 2021 р. № 1197.

Роботу Бичка І.Б. виконано на сучасному науковому рівні із залученням різноманітних хімічних, фізичних та фізико-хімічних методів аналізу, а саме, ІЧ та Раманівської спектроскопій, рентгенівської фотоелектронної спектроскопії (XPS), термогравіметрії, рентгенофазового аналізу, низькотемпературної адсорбції азоту, динамічного розсіювання світла (DLS), електронної (SEM, HRTEM) мікроскопії, адсорбційних методів, елементного аналізу, рентгенофлюоресцентного аналізу та кінетичних методів дослідження каталітичних реакцій.

Представлена робота складається зі вступу, 7 розділів, висновків та додатків, список використаних джерел складає 332 найменування. Загальний обсяг дисертації (без додатків) складає 350 сторінок друкованого тексту, що містять 37 таблиць та 231 рисунок.

У вступі дисертаційної роботи обґрунтовано актуальність обраної теми, визначено мету та завдання дослідження, представлено наукову новизну та практичну значимість отриманих результатів, відомості про особистий внесок здобувача і апробацію роботи, а також основні та додаткові публікації за темою роботи.

Перший розділ містить критичний аналіз сучасних концепцій, представлених у науковій літературі, щодо каталітичних властивостей вуглецевих наноматеріалів у реакціях гідрування. Розглянуто процеси гідрування, що реалізуються як через взаємодію органічних субстратів із молекулярним воднем, так і з використанням альтернативних донорів реакційноздатного водню, зокрема боргідриду, гідразину та інших сполук. Окреслено перспективні напрями розвитку каталітичних систем на основі вуглецевих наноматеріалів, включаючи дослідження механізмів реакцій, а також можливість створення та впровадження нових гетерогенно-каталітичних процесів. Проаналізовано сучасні підходи до дизайну вуглецевих наноматеріалів, спрямовані на підвищення швидкості каталітичних реакцій та регулювання селективності утворення цільових продуктів. Окрему увагу приділено аналізу підходів до встановлення природи активних центрів на поверхні вуглецевих наноматеріалів і визначенню ролі функціональних груп у процесах поверхневої міграції водню.

У другому розділі наведено характеристику реагентів і матеріалів, використаних у роботі, а також описано експериментальні методи дослідження. Представлено методики синтезу вуглецевих наноматеріалів і металовмісних систем на їх основі, методи визначення їх структурних та фізико-хімічних властивостей, а також підходи до дослідження каталітичних властивостей отриманих матеріалів у гетерогенно-каталітичних процесах. Крім того, описано методи обробки та аналізу первинних експериментальних даних.

Третій розділ присвячений аналізу структурних та функціональних характеристик синтезованих матеріалів. У роботі було отримано різні типи вуглецевих нанотрубок (ВНТ), зразки відновленого оксиду графену (ВОГ), поліанілін, нанокомпозити типу метал-ВНТ, а також системи з вуглецевими точками (ВТ), нанесеними на оксидні носії. Досліджено структурні та каталітичні властивості ВНТ різного діаметра, синтезованих за однаковою методикою із застосуванням каталізаторів різного типу. Також вивчено структурні та каталітичні характеристики різних зразків ВОГ, отриманих із використанням різних типів графіту як вихідної сировини. Серія зразків поліаніліну включає вихідний поліанілін та продукти його термічної обробки в атмосфері водню. Металовмісні системи представлені матеріалами з попередньо синтезованими наночастинками заліза, нанесеними на ВНТ (Fe_xO_y/ВНТ), а також зразками з інкапсульованими всередині ВНТ наночастинками Ni з різним вмістом нікелю (Ni@ВНТ). Системи з вуглецевими точками представлені зразками з нанесеними ВТ на оксидні носії як без додавання родію, так і з його введенням.

У четвертому розділі наведено результати досліджень каталітичних властивостей вуглецевих наноматеріалів у реакціях гідрування етилену та ацетилену. На прикладі гідрування етилену в газовій фазі на зразку ВОГ-1 продемонстровано здатність вуглецевих наноматеріалів проявляти каталітичну активність у реакціях гідрування. Порівняльний аналіз активності різних

вуглецевих матеріалів показав, що найвищу каталітичну активність демонструють графітізовані вуглецеві наноматеріали, зокрема ВНТ та ВОГ, а також термоструктурований поліанілін. Встановлено, що збільшення вмісту кисню в структурі вуглецевих матеріалів, а також зростання частки аморфної фази призводять до зниження каталітичної активності. Зокрема, активоване вугілля СКТ не проявляє помітної каталітичної активності в даній реакції. Найвищу активність зафіксовано для термоструктурованого поліаніліну EB-300.

Показано, що швидкість гідрування ацетилену на ВОГ є на порядок більшою, ніж у випадку етилену. Запропоновано, що ацетилен адсорбується на вакансіях та бездефектних графенових доменах, в той час як етилен – на бездефектних графенових ділянках. Процес гідрування ацетилену протікає за механізмом Ленгмюра-Хіншельвуда, за яким адсорбція вуглеводню та водню відбувається на тих самих активних центрах, а гідрування етилену, як за цим механізмом, так і за механізмом Ілі-Рідила.

Вперше показано каталітичну активність в реакціях гідрування зразків термічно структурованого поліаніліну.

П'ятий розділ присвячено дослідженню каталітичних властивостей вуглецевих наноматеріалів та поліаніліну в реакціях гідрування 4-нітротолуолу та б-метилстиролу у рідкій фазі. Досліджено каталітичні властивості вихідних графітів та ВОГ у реакції гідрування 4-нітротолуолу. Показано, що залежно від структури та функціонального стану поверхні конверсія 4-нітротолуолу в 4-толуїдин може змінюватися у широкому діапазоні, причому каталітична активність ВОГ є вищою порівняно з вихідними графітами.

На прикладі гідрування 4-нітротолуолу у присутності ВНТ встановлено, що розчинник відіграє важливу роль у перебігу процесу, тоді як концентрація розчиненого водню є другорядним фактором. Показано, що збільшення вмісту води у реакційному середовищі не призводить до суттєвого зниження каталітичної активності, що свідчить про відсутність отруєння активних центрів водою. Встановлено, що протоногенні сполуки знижують швидкість гідрування, тоді як протоноакцепторні речовини, зокрема піридин, сприяють перебігу гідрування нітросполуку присутності вуглецевих наноматеріалів. Підвищення полярності розчинника в певних межах також призводить до зростання швидкості реакції. Повторне використання ВНТ у гідруванні 4-нітротолуолу супроводжується зменшенням їх каталітичної активності, що, ймовірно, пов'язано з окисненням поверхні нанотрубок нітрогрупами.

Проведені дослідження показали, що підвищення каталітичної активності в реакціях гідрування може бути досягнуте шляхом створення вуглецевих наноматеріалів із розвиненою поверхнею та високим ступенем графітизації, у поєднанні з ділянками значної кривизни поверхні. Такі структурні особливості спричиняють зміну локальної електронної густини р-спряженої системи графенових площин. Важливу роль відіграє також наявність поверхневих структурних дефектів, передусім дефектів типу «вакансія», які можуть виступати центрами адсорбції водню, а також гідроксильних груп, що

сприяють поверхневій міграції водню. Для гідрування нітросполук у рідкій фазі висока ефективність процесу досягається у протоноакцепторних розчинниках (наприклад, піридині) або в нихчих спиртах, таких як метанол.

У шостому розділі наведено результати дослідження каталітичних властивостей ВНТ та ВОГ у газофазних реакціях дегідрування етану та перетворення метанолу. Вперше продемонстровано, що нановуглецеві матеріали здатні проявляти каталітичну активність у реакції прямого дегідрування етану. Показано, що селективність утворення етилену практично не залежить від концентрації водню в реакційному середовищі. Це свідчить про те, що етан і водень адсорбуються на однакових адсорбційних центрах, а тому проведення процесу в умовах надлишку водню обмежує адсорбцію етану та, відповідно, його каталітичне перетворення. Встановлено, що вуглецеві наноматеріали зберігають стабільність за температур до 700 °С і характеризуються високою селективністю за етиленом на рівні 80–90 %.

На основі отриманих результатів припущено, що в реакціях дегідрування етану та метанолу активними центрами, імовірно, є поверхневі дефекти типу «вакансія». Показано, що за низьких температур основний внесок у перебіг реакції дегідрування забезпечують карбонільні функціональні групи поверхні, тоді як за підвищених температур значна частина каталітичних перетворень відбувається на поверхневих дефектах. Відповідно, висока стабільність таких вуглецевих наноматеріалів, як ВНТ та ВОГ, у реакціях дегідрування пов'язана з високою термічною стабільністю поверхневих дефектів, які виступають основними активними центрами за високих температур.

Сьомий розділ присвячено дослідженню каталітичних властивостей металовмісних композитів на основі вуглецевих наноматеріалів та поліаніліну у реакціях гідрування в газовій і рідкій фазах, дегідрування, а також у реакції водяного зсуву (РВЗ). Продемонстровано можливість синтезу нанокompозитів Ni@ВНТ методом імпрегнування, що приводить до формування наночастинок Ni, на зовнішніх стінках ВНТ, які повністю покриті шаром вуглецю. Така інкапсуляція запобігає безпосередньому контакту частинок Ni з повітрям і реакційним середовищем.

Дослідження каталітичних властивостей нанокompозитів Ni@ВНТ показало, що зі збільшенням вмісту Ni зростає їх каталітична активність у реакціях гідрування як у газовій, так і в рідкій фазі за участю молекулярного водню, а також у реакції дегідрування етану. На підставі отриманих результатів запропоновано пояснення цього ефекту, яке полягає у перенесенні заряду з металевого Ni на вуглецеві нанотрубки. При цьому такий електронний ефект може частково компенсуватися підвищеним вмістом кисню та дефектністю структури ВНТ.

На прикладі систем ВТ–MxOy (M = Si, Al, Zr) вперше показано, що вуглецевмісні матеріали здатні проявляти каталітичну активність у реакції водяного зсуву. Додаткове нанесення Rh призводить до зростання каталітичної активності отриманих композитів приблизно на два порядки. Показано, що

використання носія з низькою питомою поверхнею, зокрема ZrO_2 , дозволяє підвищити каталітичну активність завдяки збільшенню поверхневої концентрації активної фази.

Висновки по результатах дисертаційної роботи викладені у дев'яти пунктах та повністю відображають основні результати роботи. Можна відзначити високий рівень та якість інтерпретації отриманих результатів. Широке застосування сучасних взаємодоповнюючих фізичних методів досліджень дозволяє стверджувати, що основні наукові положення, висновки та рекомендації, сформульовані у дисертації, достатньо обґрунтовані та є достовірними.

Наукова новизна дисертаційної роботи.

В роботі Бичка І.Б. вперше розроблено наукові засади створення каталізаторів гідрування на основі вуглецевих наноматеріалів, що не містять металу.

Серед оригінальних, нових та принципово важливих результатів досліджень можна відзначити наступні:

Виявлено основні чинники, які визначають каталітичну дію вуглецевих наноматеріалів у реакціях гідрування органічних сполук у газовій та рідкій фазах. Представлено новий тип активних центрів дегідрування метанолу для вуглецевих наноматеріалів, який є структурним дефектом типу «вакансія».

Вперше, на прикладі відновленого оксиду графену, експериментально показано здатність вуглецевого наноматеріалу проявляти каталітичну активність у реакціях гідрування за атмосферного тиску та показано, що найбільша каталітична активність досягається для графітізованих вуглецевих наноматеріалів та матеріалів з розвиненою поверхневою р-спряженою системою.

Вперше продемонстровано здатність поліаніліну проявляти каталітичну активність у реакціях гідрування. Показано, що активність поліаніліну суттєво залежить від температури його обробки.

Запропоновано методики синтезу $Ni@VNT$ з використанням методу імпрегнування, що дозволяє одержати наноматеріал з наночастинками Ni , інкапсульованими на зовнішніх стінках VNT та повністю покритими вуглецем, що запобігає контакту Ni з повітрям та реакційним середовищем.

Практичне значення одержаних результатів.

Практична значимість одержаних Бичком І.Б. полягає у розробці нових каталізаторів. Зокрема, автором в роботі було розроблено каталізатори для промислово важливих процесів селективного гідрування ацетилену в надлишку етилену, реакції водяного зсуву та гідрування нітросполук.

Повнота викладу основних результатів дисертації у наукових фахових виданнях та ідентичність змісту автореферату й основних положень дисертації. Додатковою характеристикою високого наукового рівня роботи Бичка І.Б. може слугувати список публікацій за тематикою роботи. Результати опубліковано в 33 статтях (серед яких 8 статей в журналах, що відносяться до

1-го та 2-го квантилю) та в тезах 14 доповідей на конференціях. За матеріалами дисертаційного дослідження оформлено 5 патентів України на корисну модель. Автореферат дисертації адекватно відображає її основний зміст. Висновки роботи Бичка І.Б. базуються на великому обсязі експериментальних даних та обґрунтовані. Дисертаційна робота оформлена належним чином.

При всіх позитивних враженнях по роботі можна зробити наступні зауваження:

1. В роботі використано абсолютно невдалий термін «нанофазні каталізатори», бо «нано» означає розмір частинок. І як в такому випадку назвати мікророзмірні каталізатори – «мікрофазні»? Але існує такий запатентований матеріал, який має назву «мікрофаза». Тому доцільно вживати термін «нанорозмірний каталізатор».
2. В розділі «Актуальність роботи» написано « У вступі зазначено, що інтерес до створення каталізаторів на основі вуглецевих наноматеріалів гідрування зумовлений також зменшенням затрат на постсинтетичну очистку субстанцій у випадку проведення процесів у рідкій фазі. Незрозуміло, від про очистку від чого йдеться: від металу, носія чи побічних продуктів?
3. Зауваження до спектрів РФЕС представлених в ДР на рис. 3.4 (а-е), табл. 3.2 та стор. 108: а – помилка в підпису до рис. «д», де представлено спектр O 1s, а не C 1s, б – відсутність масштабу на осі «у» для всіх рисунків, в – з рис. 3.4 «г» (зразок 13-ВНТ) можна побачити, що інтенсивність піку (його площа), якій віднесено до C=O, значно менша ніж піку C-O, в той час як на рис. «д» та «е» інтенсивності цих піків близькі. В той же час, в табл. 3.4 співвідношення кількості C-O/C=O для зразка 13-ВНТ – найменше.
4. На стор. 121 ДР представлено дані РФЕС Ni@ВНТ зразків: «Аналіз області Ni2р показує наявність лінії 852 еВ, яка пов'язана з Ni 2р_{3/2} для Ni0, і сателіт при 857 еВ». Однак, з рис. 3.12 можна побачити, що пік Ni2р_{3/2}-електронів має енергію близько 853 еВ, що характерно для Ni²⁺, а не для металічного нікелю. Окрім того, різниця в енергіях зв'язку між сателітом та 2р_{3/2}-електронами Ni за даними автора складає 15 еВ, що характерно для іону нікелю, тоді як для металічного нікелю вона більша – 17,4 еВ.
5. У розділах 3.4 та 7.1, присвячених системі з нанесеними наночастинками оксиду заліза у реакції водяного зсуву, вказується, що «хемосорбція O₂ дає розмір наночастинок для їх відновленого стану, тобто для металевого заліза» (стор. 129 ДР, стор. 8 А). Однак дані РФЕС (рис. 3.16) показують лише наявність іонів Fe²⁺ та Fe³⁺ як для вихідного зразка, так і після реакції, і ніякого фантому під назвою «металеве залізо» чи «активна фаза (залізо)» (табл. 3.6 ДР) не існує. Тому, представлена на стор. 278-279 дискусія про механізм РВЗ зі згадуванням «заліза» має бути віднесена до оксидів цього металу. Але яка форма оксиду визначає показники процесу РВЗ?
6. Невірні підписи на рис. 3.28 є, ж, з «SO₄р_{3/2} та SO₄р_{1/2}». Має бути Sp_{3/2} та Sp_{1/2}.

7. На ряді рисунків, де представлені ІЧ-спектри, наприклад, на рис. 3.34, варто було б подавати значення смуг коливань.

8. На стор. 187 написано «Відповідно, в залежності від структурних характеристик та стану поверхні, каталітична активність ВНТ може відрізнятися на порядок». Але залишається незрозумілим, від яких, власне, характеристик каталітична активність представлених у роботі ВНТ може відрізнятися на порядок.

9. При обговоренні механізмів гідрування етилену та ацетилену варто було провести розрахунки відповідних констант швидкості та адсорбції.

10. Незрозуміло, де на рис. 7.5 (ДР) та рис. 17 знаходиться зразок 13-ВНТ? Він що зашифрований під назвою ВНТ?

Вказані зауваження не є принциповими і жодним чином не впливають на наукову цінність отриманих результатів та загальну позитивну оцінку роботи.

Висновок про відповідність дисертації вимогам положення

Вважаю, що дисертаційна робота *Бичка І.Б. «Каталітичні властивості вуглецевих наноматеріалів у реакціях гідрування органічних речовин»* за актуальністю, науковою новизною, практичним та фундаментальним значенням повністю відповідає вимогам пунктів 7, 8 і 9 «Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 1197 від 17.11.2021 щодо докторських дисертацій а також усім вимогам Міністерства освіти і науки України щодо дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора хімічних наук, а її автор Бичко Ігор Богданович, заслуговує на присудження наукового ступеня доктора хімічних наук за спеціальністю 02.00.15 — хімічна кінетика і каталіз.

Офіційний опонент

Завідувач відділу окислювальних гетерогенно-каталітичних процесів

Інститут сорбції та проблем ендоекології НАН України

член-кореспондент НАН України,

доктор хімічних наук, професор

26/03/26

Валерій ЗАЖИГАЛОВ

Підпис член-кореспондента НАН України В.О.Зажигалова засвідчую

Вчений секретар ІСПЕ НАН України

кандидат хімічних наук



Світлана МЕЛЕШЕВИЧ