**ВІДГУК**

офіційного опонента на дисертацію Агравала Павла Гяновича на тему «Термодинаміка і фазові перетворення в багатокомпонентних аморфоутворюючих системах перехідних металів», поданої на здобуття наукового ступеня доктора хімічних наук за спеціальністю 02.00.04–«Фізична хімія»

**Актуальність теми дисертації**

Новий клас металевих матеріалів – аморфні сплави – набув значного розвитку і є перспективним для промислового виробництва. Аморфні сплави і вироби з них демонструють унікальний комплекс надзвичайних механічних (твердість, міцність, пластичність), хімічних (корозійна стійкість, здатність поглинати гази, каталізувати хімічні процеси), магнітних і електричних властивостей. Важливими представниками цих матеріалів є багатокомпонентні аморфні сплави, утворені перехідними металами: титаном цирконієм, гафнієм, залізом, кобальтом, нікелем та міддю.

Однією з проблем, що стає на шляху розробки нових складів аморфних сплавів і визначення нових перспективних систем для їх одержання, є відсутність систематичного фізико-хімічного дослідження феномену аморфізації. На теперішній час основні зусилля дослідників зосереджені на розробці і оптимізації нових точкових багатокомпонентних складів, для яких, в більшості випадків, відомі технологічні умови одержання і сукупність фізичних властивостей. В той же час термодинамічні властивості розплавів, з яких вони утворюються, залишаються майже невідомими. Така ситуація вказує на необхідність систематичного підходу до вивчення фізико-хімічних основ одержання сплавів цього класу. Такий підхід був би корисним для визначення перспективних систем і прогнозування концентраційних областей аморфізації в них.

Саме тому дисертаційна робота Агравала П. Г., спрямована на дослідження термодинамічних властивостей металічних розплавів багатокомпонентних аморфоутворюючих систем перехідних металів, визначення залежності цих властивостей від складу, температури і числа компонентів систем та виявлення факторів, що визначають здатність розплавів до аморфізації, є безумовно актуальною. Дисертаційна робота також націлена на моделювання рівноважних та метастабільних фазових перетворень за участю переохолоджених розплавів і прогнозуванню концентраційних областей аморфізації. Важливим є те, що ці завдання вирішуються в даній дисертаційній роботі з використанням CALPHAD-методу – сучасного засобу моделювання фазових рівноваг в багатокомпонентних системах.

Актуальність роботи також пов'язана з вдалим вибором фізичного об'єкту досліджень – багатокомпонентних розплавів перехідних металів, що містять IVB-метали, залізо, кобальт, нікель та мідь. Ці розплави відомі тим, що на їх основі одержані аморфні, об'ємні аморфні і високоентропійні аморфні сплави.

Дисертаційна робота Агравала П. Г. пов'язана з тематикою науково-дослідних робіт, що виконувалися в Донбаській державній машинобудівній академії (м.

Краматорськ) за рахунок коштів державного бюджету: «Термодинамічне дослідження багатокомпонентних розплавів і моделювання їх об'ємної аморфізації» (№ державної реєстрації 0106U001621), 2006–2008 рр.; «Термодинамічне дослідження взаємодії компонентів розплавів аморфоутворюючих систем та розвиток фундаментальних принципів створення аморфних сплавів» (№ державної реєстрації 0112U001245), 2012–2014 рр.; «Термодинамічне дослідження багатокомпонентних розплавів перехідних металів для створення кристалічних та аморфних високоентропійних сплавів» (№ державної реєстрації 0115U003181), 2015–2017 рр.; «Багатокомпонентні розплави для створення високоентропійних сплавів: термодинамічні властивості, фазові рівноваги, фундаментальні принципи розробки» (№ державної реєстрації 0112U006709), 2014–2019 рр. Дисертаційна робота також виконувалася в рамках програм міжнародного наукового співробітництва «Binary Evaluation Program» і « Ternary Evaluation Program», які проводяться Materials Science International Team (Штутгарт, Німеччина).

Наведені вище факти є свідченням затребуваності наукових досліджень в даному напрямку, і, відповідно, вказують на **актуальність** дисертаційного дослідження Агравала П.Г.

**Оцінка обґрунтованості наукових положень дисертації, висновків, їх достовірність і новизна**

Аналіз матеріалів дисертаційної роботи Агравала П. Г. показує, що дослідження виконані на належному науковому рівні з використанням сучасних експериментальних та теоретичних методів: високотемпературної ізопериболічної калориметрії для експериментального визначення ентальпії утворення рідких сплавів; моделі асоційованого розчину для теоретичного визначення температурно-концентраційної залежності термодинамічних властивостей розплавів і аналізу параметрів атомного упорядкування в них; CALPHAD-методу для теоретичних досліджень рівноважних та метастабільних фазових перетворень за участю розплавів.

Всі наукові положення і висновки, сформульовані у дисертації Агравала П. Г., базуються на результатах експериментальних та теоретичних досліджень, отриманих з використанням перелічених методів, логічно витікають з отриманих результатів і є достовірними. Висновки, зроблені в дисертації, відповідають поставленим завданням, вирішення яких дозволило Агравалу П. Г. одержати ряд нових результатів, які становлять собою **наукову новизну** дисертації і найвагомішими з яких є:

- результати експериментальних досліджень ентальпії змішування рідких сплавів трикомпонентних систем Co–Cu–Ti, Co–Cu–Zr, Cu–Fe–Ti, Cu–Fe–Zr, Cu–Fe–Hf, Cu–Ni–Ti, Cu–Ni–Hf, Cu–Ti–Zr, Cu–Ti–Hf, Ni–Ti–Zr, Ni–Ti–Hf і нові експериментальні дані для двокомпонентних розплавів Fe–Ti, Fe–Zr і Fe–Hf, які вказують на визначену роль подвійних взаємодій компонентів;

- результати моделювання в рамках моделі асоційованого розчину температурно-концентраційної залежності термодинамічних функцій змішування двокомпонентних розплавів Fe–Ti, Fe–Zr та Fe–Hf і трикомпонентних розплавів Co–

Cu–Ti, Co–Cu–Zr, Co–Cu–Hf, Cu–Fe–Ti, Cu–Fe–Zr, Cu–Fe–Hf, Cu–Ni–Ti, Cu–Ni–Zr, Cu–Ni–Hf, Cu–Ti–Zr, Cu–Ti–Hf, Cu–Zr–Hf, Ni–Ti–Zr, Ni–Ti–Hf, Ni–Zr–Hf;

- розробка бази даних для розрахунку термодинамічних властивостей багатокомпонентних аморфоутворюючих розплавів системи Co–Cu–Fe–Ni–Ti–Zr–Hf, та результати розрахунків з її використанням термодинамічних функцій змішування розплавів систем Cu–Ni–Ti–Zr, Cu–Ni–Ti–Hf і Cu–Ni–Ti–Zr–Hf та еквіатомних п'ятикомпонентних розплавів системи Co–Cu–Fe–Ni–Ti–Zr–Hf;

- результати розрахунків складу асоційованого розчину і оцінки ступеню ближнього хімічного порядку як сумарної мольної частки асоціатів $\Sigma x_{assoc}$ в розплавах дво-, три-, чотири- і п'ятикомпонентних систем;

- результати прогнозування концентраційних областей аморфізації розплавів Co–Cu–Ti, Co–Cu–Zr, Co–Cu–Hf, Cu–Fe–Ti, Cu–Fe–Zr, Cu–Fe–Hf, Cu–Ti–Hf, Cu–Zr–Hf, Ni–Ti–Hf, Ni–Zr–Hf, Cu–Ni–Ti–Hf, Cu–Ni–Ti–Zr, Cu–Ni–Zr–Hf, Cu–Ti–Zr–Hf, Ni–Ti–Zr–Hf та Cu–Ni–Ti–Zr–Hf;

- результати термодинамічного опису потрійних системи Cu–Ti–Hf, і Cu–Ti–Zr і бінарної системи Ti–Zr в рамках CALPHAD-методу, представлені у вигляді відповідних діаграм стану;

- розроблена в рамках CALPHAD-методу база даних параметрів моделей термодинамічних властивостей розплавів і граничних твердих розчинів на основі чистих компонентів системи Co–Cu–Fe–Ni–Ti–Zr–Hf для спрямованого пошуку складів аморфних сплавів і результати прогнозування відповідних концентраційних областей аморфізації розплавів.

**Значимість результатів дисертаційної роботи для науки і практики**

Наукова значимість результатів дисертаційної роботи Агравала П. Г. полягає в тому, що експериментально визначені ентальпії змішування і результати моделювання термодинамічних функцій змішування розплавів Fe–(Ti, Zr, Hf), Co–Cu–Ti, Co–Cu–Zr, Cu–Fe–Ti, Cu–Fe–Zr, Cu–Fe–Hf, Cu–Ni–Ti, Cu–Ni–Hf, Cu–Ti–Zr, Cu–Ti–Hf, Ni–Ti–Zr, Ni–Ti–Hf суттєво доповнюють інформацію з термодинаміки фаз аморфоутворюючих систем. Вони надають розуміння зміни характеристик хімічного зв'язку і термодинамічних функцій змішування в цих системах в залежності від складу, температури і числа компонентів. Розраховані діаграми стану систем Ti–Zr, Cu–Ti–Zr, Cu–Ti–Hf доповнюють інформацію про фазові рівноваги в системах перехідних металів. Визначені кількісні співвідношення складових енергії Гіббса багатокомпонентних розплавів в широкому інтервалі температур надають розуміння основ отримання аморфних високоентропійних сплавів і інших високоентропійних фаз на основі перехідних металів.

З практичної точки зору, розроблені бази даних для спрямованого пошуку складів аморфних сплавів системи Co–Cu–Fe–Ni–Ti–Zr–Hf і проведені з їх використанням розрахунки закладають підґрунтя для пошуку нових складів багатокомпонентних аморфних сплавів. Важливими для практичних розрахунків перспективних складів аморфних сплавів є представлені в роботі методики прогнозування концентраційних областей аморфізації розплавів, результати прогнозування за якими задовільно узгоджуються між собою і наявною

експериментальною інформацією. Одержані в роботі результати з термодинаміки фаз і фазових рівноваг можуть бути широко використані фахівцями в галузі фізичної хімії та хімічного і фізичного матеріалознавства.

**Повнота викладу основних результатів дисертації**

Основні результати дисертаційної роботи Агравала П. Г. опубліковані в 64 наукових публікаціях, які включають 1 монографію, 29 статей у наукових журналах (з яких 23 статті у виданнях, що є фаховими або індексуються базами даних Scopus та Web of Science, 8 з них опубліковані у виданнях першого та другого квартилів) та 34 тези доповідей на міжнародних наукових конференціях.

Загалом, вимоги стосовно повноти публікацій та апробації результатів дисертації Агравала П. Г. виконано у повному обсязі.

**Оцінка змісту дисертаційної роботи**

Дисертація Агравала П.Г. складається зі вступу, семи розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Повний обсяг дисертації складає 452 сторінки, з них 336 сторінок основного тексту. Дисертація містить 139 рисунків, 46 таблиць та сім додатків. Список використаних джерел нараховує 323 найменування.

**Вступ дисертації** достатньо повно розкриває сутність та сучасний стан досліджень, що присвячені термодинамічним властивостям металічних розплавів аморфоутворюючих систем перехідних металів, рівноважних та метастабільних фазових перетворень за їх участю і прогнозування концентраційних областей аморфізації. Автором обґрунтована актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовані мета роботи, об'єкт, предмет, задачі та методи досліджень, сформульовано наукову новизну, визначено практичну цінність результатів роботи, наведено особистий внесок здобувача та апробацію результатів досліджень, публікації за темою дисертації та структуру роботи.

**У першому розділі** дисертантом Агравалом П. Г. розглянуто літературну інформацію про термодинамічні властивості рідких сплавів і про склади аморфних дво- і трикомпонентних сплавів заліза, кобальту, нікелю і міді з титаном, цирконієм і гафнієм. У розділі показано, що термодинамічні властивості розплавів граничних двокомпонентних систем є переважно дослідженими. При цьому, властивості розплавів заліза з титаном, цирконієм і гафнієм потребують на додаткові дослідження. Термодинамічні властивості розплавів розглянутих трикомпонентних системах не досліджені (виключення – система Cu–Ni–Zr). Результати експериментальних досліджень їх здатності до аморфізації потребують на узагальнення в рамках теоретичного дослідження.

**У другому розділі** дисертації здобувач Агравал П. Г. описав конструкцію високотемпературної ізопериболічної калориметричної установки для визначення ентальпій змішування розплавів, докладно описано методику проведення калориметричного експерименту з визначення парціальних ентальпій змішування компонентів, методику апроксимації результатів експериментів і їх статистичної обробки, методику визначення інтегральної ентальпії змішування розплавів.

В розділі також докладно розглянуто методику опису і моделювання термодинамічних властивостей рідких сплавів дво-, три- і багатокомпонентних систем в рамках моделі асоційованого розчину і методику моделювання фазових в рамках CALPHAD-методу.

**У третьому розділі** представлені результати експериментального калориметричного дослідження ентальпії змішування розплавів двокомпонентних систем Fe–Ti, Fe–Zr та Fe–Hf і трикомпонентних систем Co–Cu–Ti, Co–Cu–Zr, Cu–Fe–Ti, Cu–Fe–Zr, Cu–Fe–Hf, Cu–Ni–Ti, Cu–Ni–Zr, Cu–Ni–Hf, Cu–Ti–Zr, Cu–Ti–Hf, Ni–Ti–Zr та Ni–Ti–Hf.

Концентраційна залежність парціальних ентальпій змішування IVB-металів в розплавах систем Fe–Ti, Fe–Zr та Fe–Hf і вздовж променевих перерізів з постійним співвідношенням компонентів в розплавах трикомпонентних систем були проведені при 1873 К. Встановлені парціальні і інтегральні ентальпії змішування компонентів розплавів вказують на інтенсивну хімічну взаємодію між ними. Ізотерми інтегральної ентальпії змішування, як за абсолютними значеннями, так і за їх концентраційним ходом, вказують на виключно важливу роль парних взаємодій. Такий характер взаємодії компонентів визначає від'ємні відхилення від закону Рауля для термодинамічних функцій змішування розплавів, сприяє підвищенню їх термодинамічної стабільності і є рушійною силою локалізації хімічного зв'язку по типу хімічної сполуки.

**У четвертому розділі** в рамках моделі асоційованого розчину були описані ентальпії змішування і розраховані інші термодинамічні функції змішування розплавів двокомпонентних систем Fe–(Ti, Zr, Hf) і п'ятнадцяти трикомпонентних систем. Для останніх були прийняті до уваги параметри утворення двокомпонентних асоціатів у відповідних двокомпонентних системах і знайдені параметри, які описують потрійну взаємодію компонентів. Ці результати, разом з літературною інформацією, стали основою для розробки бази даних для моделювання термодинамічних властивостей багатокомпонентних розплавів аморфоутворюючих системи Co–Cu–Fe–Ni–Ti–Zr–Hf, з використанням якої проводились подальші термодинамічні розрахунки.

Для чотирикомпонентних систем Cu–Ni–Ti–Zr і Cu–Ni–Ti–Hf термодинамічні функції змішування термодинамічні функції змішування були розраховані уздовж променів, що з'єднують чисті метали з еквіатомними сплавами в протилежних трикомпонентних системах. Аналогічні розрахунки були проведені для розплавів п'ятикомпонентної системи Cu–Ni–Ti–Zr–Hf. Також були розраховані термодинамічні властивості двадцяти одного п'ятикомпонентного еквіатомного розплаву системи Co–Cu–Fe–Ni–Ti–Zr–Hf при 800 і 1873 К. Проведені розрахунки показали, що еквіатомні розплави багатокомпонентних систем або близькі до них склади мають найвищу термодинамічну стабільність у відповідних системах. Встановлено, що внесок ідеальної складової в енергію Гіббса змішування для чотири- і п'ятикомпонентних еквіатомних рідких сплавів аморфоутворюючих систем на основі перехідних металів при 1873 К змінюється в межах 65...85%, а при 800 К зменшується до 20...45%.

**У п'ятому розділі** з використанням розробленої бази даних в межах уявлень моделі асоційованого розчину в інтервалі 800…1873 К оцінена ступінь ближнього хімічного порядку в металевих розплавах систем Fe–(Ti, Zr, Hf), Co–Cu–(Ti, Zr, Hf), Cu–Fe–(Ti, Zr, Hf), Cu–Ni–(Ti, Zr, Hf), Cu–Ti–(Zr, Hf), (Cu, Ni)–Zr–Hf, Ni–Ti–(Zr, Hf), Cu–Ni–Ti–Hf, Cu–Ni–Ti–Zr, Cu–Ni–Zr–Hf, Cu–Ti–Zr–Hf, Ni–Ti–Zr–Hf і Cu–Ni–Ti–Zr–Hf. Встановлено, що при зниженні температури ступінь ближнього хімічного порядку в розплавах аморфоутворюючих систем збільшується. Показано, що еквіатомні три-, чотири- і п'ятикомпонентні сплави відповідають концентраційним областям максимального впорядкування у системах. З використанням емпіричного правила прогнозовані концентраційні області аморфізації розплавів загартуванням. Тим самим інтерпретовані відомі концентраційні інтервали аморфізації розплавів систем Cu–Ti–Zr, Cu–Hf–Ni, Cu–Ni–Ti, Cu–Ni–Zr і Ni–Ti–Zr і вперше прогнозовані концентраційні області аморфізації трикомпонентних розплавів Co–Cu–Ti, Co–Cu–Zr, Co–Cu–Hf, Cu–Fe–Ti, Cu–Fe–Zr, Cu–Fe–Hf, Cu–Ti–Hf, Cu–Zr–Hf, Ni–Zr–Hf, Ni–Zr–Hf і чотири- і п'ятикомпонентних розплавів системи Cu–Ni–Ti–Zr–Hf. Показано, що три- і чотирикомпонентні еквіатомні сплави і п'ятикомпонентний високоентропійний сплав CuNiTiZrHf потрапляють в концентраційну область, в якій прогнозується аморфізація загартуванням з рідини.

**У шостому розділі** представлено результати термодинамічного опису в рамках CALPHAD–методу систем Ti–Zr, Cu–Ti–Zr та Cu–Ti–Hf. Термодинамічні описи систем Cu–Ti–Zr та Cu–Ti–Hf враховують температурно-концентраційну залежність енергії Гіббса змішування в рамках моделі асоційованого розчину. Термодинамічний опис системи Cu–Ti–Hf враховує області гомогенності сполук $Cu_5Hf$, $Cu_{51}Hf_{14}$, $Cu_{10}Hf_7$, $Cu_3Ti_2$, $Cu_4Ti_3$ в подвійних та потрійній системах і утворення безперервного твердого розчину $Cu(Ti,Hf)_2$, – γ-фази. Опис системи Cu–Ti–Zr враховує області гомогенності сполук CuTi, $Cu_{51}Zr_{14}$, $Cu_{10}Zr_7$, CuZr в подвійних і потрійній системах, утворення безперервного твердого розчину $Cu(Ti, Zr)_2$, – γ-фази і потрійної сполуки $\tau_1$. Для трикомпонентних систем розраховані діаграми стану у вигляді проекцій поверхонь ліквідуса і солідуса, наборів ізотермічних перетинів і політермічних перерізів, координат нонваріантних реакцій і реакційних схем.

**У сьомому розділі** викладено методику моделювання метастабільних фазових перетворень в розплавах аморфоутворюючих систем, і представлено термодинамічну базу даних для багатокомпонентної системи Co–Cu–Fe–Ni–Ti–Zr–Hf. Використана методика звертає на себе увагу, тому що дозволяє використовувати CALPHAD-метод для проведення важливих прикладних розрахунків. Виконано моделювання метастабільних фазових перетворень з участю переохолоджених рідких сплавів та граничних твердих розчинів. Показано, що переохолоджені розплави двокомпонентних систем Fe–(Ti, Zr, Hf), трикомпонентних систем Co–Cu–(Ti, Zr, Hf), Cu–Fe–(Ti, Zr, Hf), Cu–Ni–(Ti, Zr, Hf), Cu–Ti–(Zr, Hf), (Cu, Ni)–Zr–Hf, Ni–Ti–(Zr, Hf) в широких концентраційних областях демонструють термодинамічну стабільність по відношенню до граничних твердих розчинів на основі чистих компонентів. На прикладі систем Cu–Ti–Zr, Cu–Hf–Ni, Cu–Ni–Ti, Cu–Ni–Zr і Ni–Ti–Zr продемонстровано, що розраховані в рамках CALPHAD-методу метастабільні

фазові діаграми за участю переохолодженої рідини і граничних твердих розчинів дозволяють оцінити концентраційні області аморфізації розплавів загартуванням з рідини по відносному розташуванню допоміжних ліній. З використанням запропонованого підходу прогнозовано концентраційні області аморфізації розплавів систем Co–Cu–Ti, Co–Cu–Zr, Co–Cu–Hf, Cu–Fe–Ti, Cu–Fe–Zr, Cu–Fe–Hf, Cu–Ti–Hf, Cu–Zr–Hf, Ni–Ti–Hf, Ni–Zr–Hf.

З використанням розробленої бази даних в рамках CALPHAD–методу вперше розраховані метастабільні фазові діаграми за участю чотири- і п'ятикомпонентних переохолоджених розплавів системи Cu–Ni–Ti–Zr–Hf, і прогнозовані концентраційні області отримання аморфних сплавів. Показано, що еквіатомні чотири- і п'ятикомпонентні сплави системи Cu–Ni–Ti–Zr–Hf потрапляють в прогнозовану концентраційну область аморфізації. Визначено, що фактором, що впливає на утворення аморфних сплавів системи Cu–Ni–Ti–Zr–Hf загартуванням з рідкої фази, є загальний вміст нікелю і міді, який має відповідати умові $x_{Cu} + x_{Ni} > 0{,}15$.

**Зауваження по дисертаційній роботі**

До змісту дисертаційної роботи та її автореферату можна зробити такі зауваження:

1. В Розділі 3 представлені результати дослідження інтегральної ентальпії змішування вздовж перерізів, що перехрещуються (системи Cu–Ti–Zr, Cu–Ti–Hf, Ni–Ti–Zr, Ni–Ti–Hf). Однак, в тексті дисертації не вказано, яким чином узгоджуються результати досліджень для різних перерізів в точках перетину.

2. В роботі широко використана модель асоційованих розчинів для розрахунку термодинамічних функцій змішування двокомпонентних і трикомпонентних розплавів систем перехідних металів. Між тим в роботі не наведені прямі експериментальні дані, насамперед рентгенівські, які підтверджують наявність асоціатів. Припускаю, що порівняння результатів розрахунків за допомогою МАР та моделлю субрегулярних розчинів з експериментальними даними не надало би переваги моделі асоційованих розчинів.

3. У дисертаційній роботі виконані розрахунки метастабільних рівноваг з рідкою фазою та зроблений прогноз концентраційних інтервалів, у яких можуть бути отримані аморфні сплави. Але експериментальним шляхом дисертант аморфні сплави не отримав і свої прогнози не підтвердив.

4. Перелік статей та тез наводиться у дисертації двічі: на початку перед змістом та наприкінці – у додатку.

5. Рис. 13 і рис.24 автореферату дисертації відрізняються як за зображенням та і за підписом неістотно. Незрозуміло, навіщо потрібне це дублювання.

6. Прогнозований концентраційний інтервал аморфізаціїї сплавів систем Cu-Ni-Ti-Zr та Cu-Ni-Ti-Hf занадто широкий. Експериментальні дані зосереджені у значно більш вузькому інтервалі. За таких умов важко говорити про відповідність результатів прогнозу і експерименту.

**Відповідність роботи вимогам, що ставляться до дисертацій**

За ознаками актуальності теми дисертації, ступеню обґрунтованості наукових положень, висновків, їх достовірності і новизни, значення результатів роботи для науки і практики, достатньої повноти опублікованих основних результатів виконанної роботи та загалом прийнятного оформлення тексту дисертація П. Г. Агравала відповідає вимогам щодо докторських дисертацій. Положення і результати докторської дисертації не містять даних з його кандидатської дисертації.

**Висновки про наукову роботу в цілому**

На підставі викладеного вище можна зробити висновок, що представлена дисертаційна робота в цілому відповідає паспорту спеціальності 02.00.04 – фізична хімія та вимогам п.п. 9, 10, 12 та 13 Постанови Кабінету міністрів України № 567 від 24.04.2013 р «Про затвердження Порядку присудження наукових ступенів» зі змінами, внесеними згідно з Постановами КМУ № 656 від 19.08.2015, № 1159 від 30.12.2015, № 567 від 27.07.2016, № 943 від 20.11.2019, № 607 від 15.07.2020, що надаються до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора хімічних наук, а її автор **Агравал Павло Гянович** заслуговує на присудження йому наукового ступеня **доктора хімічних наук** за спеціальністю 02.00.04 – фізична хімія.

Офіційний опонент,
академік НАН України,
директор Інституту надтвердих матеріалів ім. В.М.Бакуля НАН України,
доктор хімічних наук, професор В.З. Туркевич

"08" квітня 2021 р.