

# Облікова картка дисертації

## I. Загальні відомості

Державний обліковий номер: 0825U000322

Особливі позначки: відкрита

Дата реєстрації: 21-01-2025

Статус: Запланована

Реквізити наказу МОН / наказу закладу:



## II. Відомості про здобувача

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Гембара Назар Тарасович

2. Nazar T. Nembara

Кваліфікація: м.н.с.

Ідентифікатор ORCID ID: Не застосовується

Вид дисертації: доктор філософії

Аспірантура/Докторантура: ні

Шифр наукової спеціальності: 113

Назва наукової спеціальності: Прикладна математика

Галузь / галузі знань: математика та статистика

Освітньо-наукова програма зі спеціальності: Механіка деформівного твердого тіла

Дата захисту: 16-03-2023

Спеціальність за освітою: комп'ютерні науки та інформаційні технології

Місце роботи здобувача: Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка Національної академії наук України

Код за ЄДРПОУ: 03534506

Місцезнаходження: вул. Наукова, буд. 5, Львів, 79060, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR:

### **III. Відомості про організацію, де відбувся захист**

**Шифр спеціалізованої вченої ради (разової спеціалізованої вченої ради):** PhD 4

**Повне найменування юридичної особи:** Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка  
Національної академії наук України

**Код за ЄДРПОУ:** 03534506

**Місцезнаходження:** вул. Наукова, буд. 5, Львів, 79060, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Національна академія наук України

**Ідентифікатор ROR:**

### **IV. Відомості про підприємство, установу, організацію, в якій було виконано дисертацію**

**Повне найменування юридичної особи:** Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка  
Національної академії наук України

**Код за ЄДРПОУ:** 03534506

**Місцезнаходження:** вул. Наукова, буд. 5, Львів, 79060, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Національна академія наук України

**Ідентифікатор ROR:**

### **V. Відомості про дисертацію**

**Мова дисертації:** Українська

**Коди тематичних рубрик:** 30.19

**Тема дисертації:**

1. Математичне моделювання двоїстого впливу водню на залишкову довговічність елементів конструкцій
2. Mathematical modelling of the dual effect of hydrogen on the residual durability of structural elements

**Реферат:**

1. На основі зробленого критичного аналізу і синтезу експериментальних і теоретичних досліджень показано багатогранний вплив водню на механічну поведінку та міцність конструкційних матеріалів з реалізацією його декількох механізмів одночасно, або незалежно. Зокрема, для сталей залежно від концентрації водню, в металі можуть одночасно діяти два водневі механізми: спричинена воднем підвищена декогезія (окрихчення) та спричинена воднем підвищена локальна пластичність. Співіснування різних механізмів впливу водню на деформування та їх одночасна дія в сталях все ще недостатньо досліджена. Встановлення домінуючого механізму є надзвичайно складною та актуальною проблемою. Існуючі моделі і гіпотези про механізми впливу водню на механічну поведінку металів пояснюють, як правило, окрихчувальну його дію. Тому актуальним завданням і метою дисертаційної роботи є математичне моделювання двоїстості впливу водню на механічні властивості металевих елементів конструкцій та їх залишкову довговічність. Об'єктом

дослідження є воднева деградація матеріалів та докритичний ріст тріщин в елементах конструкцій за дії водневмісного середовища. Предметом дослідження є математичні моделі та методика для прогнозування міцності та довговічності елементів конструкцій за двоїстої дії водню. У роботі сформульовано нову розрахункову модель зумовленого воднем росту тріщин в металах за дії статичного навантаження, яка базується на сучасних фізичних і механічних теоріях їх деформування і руйнування. На цій основі розроблено метод оцінювання залишкової довговічності елементів конструкцій з тріщинами з урахуванням механізмів впливу водню на деформування металу. На підставі отриманих теоретичних результатів встановлено характеристичне значення концентрації водню у маловуглецевій сталі, за якого змінюється механізм впливу водню на деформування сталі, яке не суперечить відомим у літературі експериментальним даним для такого класу сталей. Сформульовано основні рівняння математичної моделі, які дозволяють оцінити вплив водню та механічного навантаження на пластичну деформацію металу. Показано, що водень може збільшувати або зменшувати швидкість дислокації залежно від умов концентрації водню, температури та прикладеного напруження в залізі. За малих концентрацій водень посилює рух дислокацій, тим самим збільшуючи швидкість пластичної деформації. Кількісно встановлено, що за значень концен-трації задалегідь поглиненого водню, довговічність пластини з тріщиною є на порядок меншою, ніж за концентрації водню, який поступово дифундує з вершини тріщини в зону передруйнування. Пов'язано це з тим, що поступове наводнювання зони передруйнування спочатку її пластифікує, тим самим затуплюючи вершину тріщини, збільшуючи її розкриття та гальмуючи її поширення. Отримані результати вказують на те, що пластифікування матеріалу воднем позитивно впливає на довговічність елементів конструкцій в умовах водневмісних середовищ. Усі теоретичні розробки дисертації доведено до конкретної інженерної методики для прогнозування безпечної експлуатації елементів конструкцій з урахуванням наводнювання металу внаслідок дії експлуатаційного середовища.

2. Despite the fact that a large volume of information is devoted to the problem of the influence of hydrogen on the mechanical properties and resistance to destruction of structural steels and alloys in the world and domestic literature, this issue still remains incompletely studied. This is due to the fact that the influence of hydrogen on the mechanical behavior of structural materials is multifaceted, and several mechanisms can be implemented simultaneously or independently. On the basis of the critical analysis and synthesis of experimental and theoretical studies, the multifaceted influence of hydrogen on the mechanical behavior and strength of structural materials with the implementation of its several mechanisms simultaneously or independently is shown. In particular, for steels, depending on the hydrogen concentration, two hydrogen mechanisms can simultaneously operate in the metal: hydrogen-induced increased decohesion (embrittlement) and hydrogen-induced increased local plasticity. The coexistence of different mechanisms of hydrogen influence on deformation and their simultaneous action in steels is still not sufficiently investigated. Establishing a dominant mechanism is an extremely difficult and urgent problem. Existing models and hypotheses about the mechanisms of hydrogen's influence on the mechanical behavior of metals explain, as a rule, its embrittlement effect. Therefore, the actual task and goal of my dissertation work is the mathematical modeling of the duality of hydrogen's influence on the mechanical properties of metal structural elements and their residual durability. The object of research is hydrogen degradation of materials and subcritical growth of cracks in structural elements under the action of a hydrogen-containing environment. The subject of the research is mathematical models and methods for predicting the strength and durability of structural elements under the dual action of hydrogen. The paper formulates a new calculation model of hydrogen-induced crack growth in metals under the action of static load, which is based on modern physical and mechanical theories of their deformation and destruction. On this basis, a method of assessing the residual durability of structural elements with cracks was developed, taking into account the mechanisms of hydrogen influence on metal deformation. In particular, a mathematical model of hydrogen diffusion in a piecewise heterogeneous body in a three-dimensional setting was constructed; an algorithm and corresponding numerical programs were developed for calculating the distribution of hydrogen concentration in the entire volume of three-dimensional bodies, taking into account the effect of force and temperature factors. A certificate of copyright registration for the work №107646 was obtained for the developed program for calculating the concentration of

hydrogen in volumetric elements of structures under the action of force loads "DIFEUS 3D".

## **Державний реєстраційний номер ДіР:**

**Пріоритетний напрям розвитку науки і техніки:** Фундаментальні наукові дослідження з найбільш важливих проблем розвитку науково-технічного, соціально-економічного, суспільно-політичного, людського потенціалу для забезпечення конкурентоспроможності України у світі та сталого розвитку суспільства і держави

**Стратегічний пріоритетний напрям інноваційної діяльності:** Освоєння нових технологій виробництва матеріалів, їх оброблення і з'єднання, створення індустрії наноматеріалів та нанотехнологій

**Підсумки дослідження:** Теоретичне узагальнення і вирішення важливої наукової проблеми

## **Публікації:**

- 1. Andreykiv O., Hembara N.T. A mathematical model for the determination of hydrogen concentration corresponding to changes in the mechanism of deformation. *Journal of Mathematical Science*. 2022. 263, No 1. P. 15–24.
- 2. Wei M., Chepil O.Y., Hembara N.T. Computer modeling of the influence of hydrogenation on the durability of pipe elements. *Materials Science*. 2021. 57, 1. P. 128–134.
- 3. The energy approach to the evaluation of hydrogen effect on the damage accumulation / Ya. Ivanytskyi, Ye. Kharchenko, O. Hembara, O. Chepil, Ya. Sapuzhak, N. Hembara. *Procedia Structural Integrity*. 2019. 16. P. 126–133.
- 4. O.V. Hembara, O.Ya. Chepil and N.T. Hembara Influence of the parameters of discretization on the accuracy of numerical solution of the three-dimensional problem of hydrogen diffusion. *Materials science*. 2016. 52, № 2. P. 280–286.
- 5. Андрейків О.Є., Гембара Н.Т. Моделювання впливу водню на пластичне деформування металів. *Фізико-хімічна механіка матеріалів*. 2021. № 6. С. 23–29.
- 6. Андрейків О.Є., Гембара Н.Т. Математична модель ви-зна-чен-ня концен-трації водню, за якої відбувається зміна механізму деформування. *Мате-матичні методи та фізико-механічні поля*. 2019. 62, № 3. С. 19–25.
- 7. Mathematical Modeling of Aging Processes of Pipeline Materials and Estimation of their Residual Lifetime / Oleksandr Andreykiv, Iryna Dolinska, Nazar Hembara, Orest Svirchevskyi, Miroslav Kopnický, Zuzana Budayová. Published in: 2022 12th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT), 26–28 September 2022 IEEE, Ruzomberok, Slovakia. P. 80–83.
- 8. Hembara N. Possibilities of using the plasticizing effect of hydrogen. *Materials Science and Surface Engineering (MSSE-2021) Proceedings*. 2021. P. 120–123.
- 9. Гембара О., Чепіль О., Гембара Н., Гриненко М. Математичне моделю-вання впливу експлуатаційних чинників на довговічність теплообмінних труб парагенератора. 15-й Міжнародний симпозіум українських інженерів-механіків у Львові: матеріали симпозіуму. Львів, 20–21 травня 2021 р. 2021. С. 27–29.
- 10. Сапужак Ярослав, Гембара Назар, Гриненко Михайло Моделювання нагромадження пошкодження в металі за енергетичним підходом. Конференція молодих учених «Підстригачівські читання –2020», м. Львів, 26–28 травня 2020. 2 с. <http://www.iapmm.lviv.ua/chyt2020/abstracts/Hrynen-ko.pdf>
- 11. Андрейків О., Гембара Н. Моделювання впливу границь зерен на дифузії водню. Математичні проблеми механіки неоднорідних структур: зб. наук. праць 10-ї Міжнародної наукової конференції / за заг. ред. Р.М. Кушніра та Г.С. Кіта. Львів: Інститут прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С. Підстригача НАН України, 2019. Вип. 5. С. 17–19.
- 12. Сапужак Я.І., Гембара Н.Т. Оцінка впливу водню на нагромадження пошкодження в металі за повзучості. Конференція молодих науковців і спе-ціалістів Фізико-механічного інституту ім. Г.В.

Карпенка НАН України: XXVI відкрита наук.-техн. конф., 25–27 вересня 2019 р.: матеріали. Львів, ФМІ, 2019. С. 41–42

- 13. Гембара О.В., Сапужак Я.І., Гембара Н.Т. Методика продовження терміну експлуатації обладнання АЕС України з урахуванням впливу водню // Проблеми сучасної ядерної енергетики. Тези доп. ХІV міжнар. наук.-техн. конф. молодих вчених та фахівців: 14–16 лист. 2018: Харків, вид. ХНУ, 2018. С. 27.
- 14. А.с. № 107646 Комп'ютерна програма «Програма розрахунку концентрації водню в об'ємних елементах конструкцій за дії силових навантажень» ("DIFEUS 3D") / О.Я. Чепіль, О.В. Гембара, Н.Т. Гембара, М.В. Гриненко. Зареєстровано 30.08.2021.

**Наукова (науково-технічна) продукція:** аналітичні матеріали

**Соціально-економічна спрямованість:** створення принципово нової продукції (матеріалів, технологій тощо) для забезпечення експортного потенціалу та заміщенню імпорту; економія матеріалів

**Охоронні документи на ОПВ:**

**Впровадження результатів дисертації:** Планується до впровадження

**Зв'язок з науковими темами:** 0120U101792, 0120U104904

## **VI. Відомості про наукового керівника/керівників (консультанта)**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Долінська Ірина Ярославівна
2. Iryna Y. Dolinska

**Кваліфікація:** д. т. н., с.д., 05.02.10

**Ідентифікатор ORCID ID:** Не застосовується

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка Національної академії наук України

**Код за ЄДРПОУ:** 03534506

**Місцезнаходження:** вул. Наукова, буд. 5, Львів, 79060, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Національна академія наук України

**Ідентифікатор ROR:**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Дуткевич Мацей О,
2. Maciej Dutkiewicz

**Кваліфікація:** д. т. н., професор, 01.02.04

**Ідентифікатор ORCID ID:** Не застосовується

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** Львівський національний університет імені Івана Франка

**Код за ЄДРПОУ:** 02070987

**Місцезнаходження:** вул. Університетська, буд. 1, Львів, 79000, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

## **VII. Відомості про офіційних опонентів та рецензентів**

### **Офіційні опоненти**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Токовий Юрій Владиславович

2. Yurii V. Tokovyi

**Кваліфікація:** д. ф.-м. н., с.н.с., 01.02.04

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0003-1610-0113

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** Інститут прикладних проблем механіки і математики ім. Я. С. Підстригача Національної академії наук України

**Код за ЄДРПОУ:** 03534430

**Місцезнаходження:** вул. Наукова, буд. 3-б, Львів, 79060, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Національна академія наук України

**Ідентифікатор ROR:**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Станкевич Володимир Зенонович

2. Volodymyr Z. Stankevych

**Кваліфікація:** д. ф.-м. н., доцент, 01.02.04

**Ідентифікатор ORCID ID:** Не застосовується

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** Львівський національний університет імені Івана Франка

**Код за ЄДРПОУ:** 02070987

**Місцезнаходження:** вул. Університетська, буд. 1, Львів, 79000, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

### **Рецензенти**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Штойко Іван Павлович
2. Ivan P. Shtoyko

**Кваліфікація:** к.т.н., н.с, 01.02.04**Ідентифікатор ORCID ID:** Не застосовується**Додаткова інформація:****Повне найменування юридичної особи:** Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка  
Національної академії наук України**Код за ЄДРПОУ:** 03534506**Місцезнаходження:** вул. Наукова, буд. 5, Львів, 79060, Україна**Форма власності:** Державна**Сфера управління:** Національна академія наук України**Ідентифікатор ROR:****Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Звірко Ольга Іванівна
2. Olha Zvirko

**Кваліфікація:** д. т. н., професор, 05.02.10**Ідентифікатор ORCID ID:** Не застосовується**Додаткова інформація:****Повне найменування юридичної особи:** Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка  
Національної академії наук України**Код за ЄДРПОУ:** 03534506**Місцезнаходження:** вул. Наукова, буд. 5, Львів, 79060, Україна**Форма власності:** Державна**Сфера управління:** Національна академія наук України**Ідентифікатор ROR:****VIII. Заключні відомості****Власне Прізвище Ім'я По-батькові  
голови ради**

Дмитрах Ігор Миколайович

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові  
головуючого на засіданні**

Дмитрах Ігор Миколайович

**Відповідальний за підготовку  
облікових документів**

Корній Валентина Василівна

**Реєстратор**

УкрІНТЕІ

**Керівник відділу УкрІНТЕІ, що є  
відповідальним за реєстрацію наукової  
діяльності**



Юрченко Тетяна Анатоліївна