

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор Фізико-механічного  
інституту ім. Г.В. Карпенка НАН України  
академік НАН України

З.Т. Назарчук

17. 05. 2020 р.  
02534506

## Силабус

для вивчення дисципліни «**Матеріалознавство конструкційних і функціональних матеріалів для водневої енергетики**»  
для аспірантів, спеціальність 132 «Матеріалознавство»  
Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України.

### 1. Викладачі

**Завалій Ігор Юліанович** - заввідділу, проф., д.х.н.

Контактний телефон: (032) 263-82-17; E-mail: [igor.zavaliy@gmail.com](mailto:igor.zavaliy@gmail.com)

*Наукові інтереси:* фундаментальні напрями досліджень: вивчення діаграм стану металічних систем, кристалічної структури та фізико-хімічних властивостей інтерметалідів та їх гідридів з метою встановлення взаємозв'язку

між складом, структурою та властивостями; прикладні дослідження по розробленню нових ефективних воденьякулюючих та воденьгенеруючих матеріалів, гетері в, електродних матеріалів для хімічних джерел струму.

**Практичні заняття: Ткачук Олег Володимирович**, к.т.н.

Контактний телефон +380977714882; [tkachukoleh@gmail.com](mailto:tkachukoleh@gmail.com)

*Наукові інтереси:* Розроблення функціональних біосумісних модифікованих шарів на титанових сплавах медичного призначення.

**Практичні заняття: Лютий Павло Ярославович** - н.с., к.х.н.

Контактний телефон: +380-97-1273493; E-mail: [pavlo\\_lyutyu@ukr.net](mailto:pavlo_lyutyu@ukr.net)

*Наукові інтереси:* вивчення структури і властивостей інтерметалічних матеріалів, на розробленні нових водневих технологій хіміко-термічної

обробки інтерметалічних сполук на основі рідкісноземельних металів (РЗМ) та пошук нових матеріалів і композитів на основі легких гідридотвірних металів для ефективного акумулювання водню.

***Березовець Василь Васильович – н.с., к.х.н.***

Контактний телефон: (032) 263-82-17; E-mail: berezovets@gmail.com

*Наукові інтереси:* фундаментальні напрями досліджень: фізико-хімічних властивостей інтерметалідів та їх гідридів з метою встановлення взаємозв'язку між складом, структурою та властивостями; прикладні дослідження по розробленню нових ефективних воденьякулюючих та воденьгенеруючих матеріалів.

***Осташ Орест Петрович – зав. лабораторії, д.т.н., професор***

Контактний телефон: (032) 263-82-17; orest.ostash@gmail.com

*Наукові інтереси:* структурна механіка руйнування конструкційних (сталі, алюмінієві та титанові сплави) і функціональних (кераміка та композити) матеріалів. Дослідження впливу низьких і високих температур, корозійних та водневих середовищ на фізико-механічну поведінку сучасних матеріалів. Поведінка матеріалів після тривалої експлуатації. Фізико-механічні властивості матеріалів та мікромеханізми їх руйнування. Скануюча електронна мікроскопія та фрактографія.

***Подгурська Вікторія Ярославівна – к.т.н., старший науковий співробітник***

Контактний телефон: (032) 263-82-17; podhurskavika@gmail.com

*Наукові інтереси:* мікроструктура та фізико-механічні властивості конструкційних і функціональних матеріалів. Розроблення способів підвищення фізико-механічних властивостей, зокрема зносостійкості, тріщиностійкості, конструкційних і функціональних матеріалів шляхом оптимізації їх хімічного і фазового складу та морфології структури з урахуванням мікромеханізмів руйнування за впливу експлуатаційних середовищ.

***Василів Богдан Дмитрович, к.т.н., старший науковий співробітник.***

Контактний телефон: (032) 263-82-17; mechengin1111@gmail.com

*Наукові інтереси:* структурна механіка руйнування керамічних матеріалів. Твердооксидні паливні комірки. Дослідження впливу високотемпературних, корозійних та водневих середовищ на фізико-механічну поведінку сучасних матеріалів. Високотемпературна обробка сучасних

матеріалів, мікромеханізми руйнування.

## **2. Назва, код дисципліни та кількість кредитів.**

«Матеріалознавство конструкційних і функціональних матеріалів для водневої енергетики» спеціальність 132 «Матеріалознавство», код: 132, кількість кредитів – 3.

## **3. Місце проведення навчальної дисципліни та час.**

ФМІ НАН України; (ГК, кім. 67, 35) відповідно до розкладу.

## **4. Пререквізити навчальної дисципліни:**

знати основні методи виготовлення сплавів (литі та порошкоподібні композити), розуміти поділ сплавів за кількістю компонентів, фазовим складом та за металом основи, знати фізичні та механічні властивості сплавів (електропровідність, теплопровідність, пластичність тощо), знати методи дослідження сплавів (рентгенофазовий та мікроструктурний аналізи); вміти розрізняти сплави по їх застосуванню (конструкційні, спеціальні, функціональні тощо); мати базові відомості про гідриди інтерметалічних сполук та гідридотвірні сплави; мати базові відомості про матеріали, що використовуються в хімічних джерелах струму; розуміти процеси сорбції та десорбції водню гідридотвірними сплавами, знати методи акумулювання та генерування водню; знати, які матеріали піддаються гідролізу і є практичними для генерування водню у гідролізних реакції; мати основні поняття про каталізатори гідролізних реакції. знати основні класи матеріалів для компонентів твердооксидних паливних комірок, розуміти процеси їх деградації під час тривалої експлуатації у високотемпературних газових середовищах.

**Постреквізити:** в результаті вивчення дисципліни будуть отримані знання основ створення кристалічних та аморфних сплавів, композитів та наноматеріалів на основі рідкісноземельних металів, титану, цирконію, магнію та перехідних металів, дослідження їх властивостей, прогнозування нових матеріалів із заданими характеристиками, в результаті вивчення дисципліни будуть отримані знання основ створення керамічних і композитних матеріалів на основі оксидів цирконію, нікелю, міді, алюмінію та MAX фаз титану; будуть освоєні методики синтезу гідридів з газової фази та електрохімічно; виготовлення воденьакумулюючих та воденьгенеруючих матеріалів, електродних матеріалів для хімічних джерел струму, тощо; демонстрація використання отриманого водню для генерування електроенергії, наприклад, у паливних комірках; будуть освоєні методи фазових і структурних досліджень та їх використання для характеристики функціональних матеріалів, зокрема, методи порошкової рентгенівської дифракції, методики рентгенофазового та структурного аналізів, основи уточнення кристалічної структури, розрахунок відносної напруженості зразка та розміру кристалітів за допомогою порошкових рентгенограм; будуть

освоєні методи визначення механічних і фізичних характеристик конструкційних і функціональних матеріалів; отримані знання будуть використані при виконанні дослідження та захисті її результатів у вигляді дисертації на здобуття наукового ступеню доктора філософії.

### 5. Вимоги навчальної дисципліни.

Вивчення курсу «Матеріалознавство конструкційних і функціональних матеріалів для водневої енергетики» входить до варіативної складової ОНП. Об'єм навчального навантаження складає 3 кредити, із них 32 годин – лекції, 8 годин – практичні, 50 годин – самостійна робота. Вивчення наукової дисципліни вимагає обов'язкового відвідування аудиторних занять, активну участь в обговоренні питань, якісної своєчасне виконання завдань самостійної роботи, а також участь у всіх видах контролю.

### 6. Характеристика дисципліни.

*Завдання учбової дисципліни.* Освоїти сучасні підходи до розроблення конструкційних та функціональних матеріалів для водневої енергетики.

*Мета викладання дисципліни* – опанування новітніми знаннями щодо створення конструкційних та функціональних матеріалів для водневої енергетики та дослідження їх фізико-механічних та фізико-хімічних властивостей та експлуатаційних характеристик.

*План викладання дисципліни.*

Назва тем змістовних модулів	Кількість годин		
	усього	у тому числі	
		аудиторні	самостійна робота
<b>Змістовний модуль 1. Матеріали для систем одержання, зберігання та транспортування водню</b>			
<b>Тема 1. Досягнення і перспективи водневої енергетики. (Завалій І.Ю.)</b> Три складові водневої енергетики: - одержання водню, - його зберігання та транспортування, - застосування водню.	1	1	-
<b>Тема 2. Характеристика методів одержання водню, способів його зберігання та транспортування. (Завалій І.Ю.)</b> В тому числі методи виготовлення сплавів та композитних матеріалів для приготування воденьякумулюючих матеріалів (плавлення,	4	2	2

спікання, механічний та механохімічний помели).			
<b>Тема 3. Воденьгенеруючі матеріали (одержання водню методом гідролізних реакцій).</b> (Березовець В.В.) - Матеріали для гідролізних реакцій - Каталізатори гідролізних реакцій - Практична та апаратна реалізація	8	3	5
<b>Тема 4. Воденьакумулюючі матеріали (поглинання водню з газової фази).</b> (Вербовицький Ю.В.) - Адсорбція та абсорбція. - Формування твердих розчинів та окремих гідридних фаз. - Оборотноість процесів сорбції водню. - Стійкість гідридів. - Діаграми тиск-температура-склад. - Практична значимість РСТ діаграм.	8	3	5
<b>Тема 5. Хімічні джерела струму (електрохімічна сорбція-десорбція водню, Ni-MG батареї).</b> (Вербовицький Ю.В.) - Загальна характеристика. - Гальванічний елемент, батарея. - Металогідридні батареї. - Електродні матеріали. Електрохімічні характеристики. негативних електродів.	8	3	5
<b>Тема 6. Фізико-хімічні методи дослідження функціональних матеріалів для водневої енергетики (РФА, рентгенівський та нейтронографічний структурний аналізи, електронна мікроскопія та елементний хімічний аналіз).</b> (Лютій П.Л.) - Методи отримання рентгенівського. випромінювання. Теоретичні основи рентгенівської дифракції. - Принцип роботи порошкового дифрактометра. - Рентгенівський фазовий аналіз. Суть методу, можливості застосування.	12	4	8

<p>- Метод Рівельда та його застосування для дослідження структури матеріалів. Розрахунок розміру кристалітів та відносної напруженості зразка за допомогою рентгенівського порошкового аналізу.</p>			
<b>Змістовний модуль 2. Матеріали для твердооксидних паливних комірок</b>			
<p><b>Тема 7. Альтернативні джерела електроенергії. Види паливних комірок (ПК). Технологічні середовища ПК.</b> (Осташ О.П.)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Низькотемпературні ПК;</li> <li>- Високотемпературні ПК;</li> <li>- Водневомісні технологічні середовища;</li> <li>- Вуглеводневі технологічні середовища.</li> </ul>	6,5	2,5	4
<p><b>Тема 8. Матеріали для анодів, електролітів і катодів ТОПК. Вплив технологічного середовища на їх структуру і властивості.</b> (Подгурська В.Я.)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Анодні матеріали систем YSZ-NiO і YSZ-NiO-CuO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>;</li> <li>- Матеріали електролітів систем 8YSZ і 10Sc1CeSZ;</li> <li>- Катодні матеріали систем La-Sr-MnO<sub>3</sub> і Sm-Sr-CoO<sub>3</sub>;</li> <li>- Вплив водневого і вуглеводневого технологічного середовища на структуру, фазовий склад, міцність і електропровідність матеріалів компонентів ПК.</li> </ul>	7,5	2,5	5
<p><b>Тема 9. Методи дослідження структури, фазового складу і фізико-механічних характеристик матеріалів ТОПК.</b> (Подгурська В.Я.)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Оптична і електронна мікроскопія та локальний хімічний аналіз матеріалів ТОПК.</li> <li>- Методики визначення механічних характеристик матеріалів ТОПК.</li> <li>- Методики визначення фізичних характеристик матеріалів ТОПК.</li> </ul>	6,5	2,5	4
<p><b>Тема 10. Redox-обробка матеріалів анодів ТОПК.</b> (Василів Б.Д.)</p>	6,5	2,5	4

<ul style="list-style-type: none"> <li>- Окиснювальна і відновлювальна реакції;</li> <li>- Вплив redox-обробки на структуру і властивості анодних матеріалів;</li> </ul> <p>Вплив redox-обробки на структуру і властивості за різної температури технологічного середовища.</p>			
<p><b>Тема 11. Деградація властивостей матеріалів анодів ТОПК за впливу різного складу відновлювального середовища.</b> (Василів Б.Д.)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Вплив домішок вуглецю;</li> <li>- Вплив домішок сірки;</li> <li>- Вплив водяної пари.</li> </ul>	6,5	2,5	4
<p><b>Тема 12. Матеріали для з'єднувальних елементів (інтерконектів) ТОПК. Методи підвищення їх службових характеристик.</b> (Осташ О.П.)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Загальна характеристика: традиційні матеріали та вимоги до їх експлуатаційних властивостей;</li> <li>- Сталі типу Crofer; - МАХ фази титану;</li> <li>- Інтерконекти з функціональними покриттями.</li> </ul>	7,5	3,5	4
<b>Разом</b>	<b>82</b>	<b>32</b>	<b>50</b>

### ПРАКТИЧНІ ЗАНЯТТЯ

Назва та стислий зміст роботи	Мета роботи	Кількість годин
1. Дослідження структури матеріалів методом Рітвельда.	Освоїти методику визначення структури матеріалу за рентгенівськими спектрами методом Рітвельда.	<b>4</b>
2. Визначення механічних та фізичних характеристик матеріалів ТОПК.	Освоїти методику визначення механічних та фізичних характеристик матеріалів ТОПК.	<b>4</b>
<b>Разом</b>		<b>8</b>

### 7. Контроль знань

В основі методів контролю знань використовуються поточне індивідуальне опитування, виконання та захист практичних робіт; виконання поточних контрольних робіт та екзаменаційна оцінка.

Екзамен проводиться відповідно до розкладу. Екзамен включає відповіді на шість питань: три питання з екзаменаційного білету та три додаткових питання. Оцінка відповідей на запитання: з екзаменаційного білету – 25%; додаткові – 7%. Оцінка за індивідуальне опитування – до 4%.

### Шкала оцінювання: національна та ECTS

Сума балів за навчальну діяльність	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою
90–100	+A, A, -A	відмінно
82–89	+B, B, -B	добре
74–81	+C, C, -C	задовільно
64–73	+D, D, -D	
60–63	E	незадовільно з можливістю повторного складання іспиту
36–59	FX	незадовільно з обов'язковим повторним складанням іспиту
0–34	F	

### 8. Список базової літератури


1. В.А. Яртись, О.Б. Рябов, М.В. Лотоцький. Матеріалознавство та структурна хімія інтерметалічних гідридів. – Львів: СПОЛЮМ, 2006. – 288 с.
2. Вербовицький Ю.В., Завалій І.Ю. Нові металогідридні електродні матеріали на основі сплавів  $R_{1-x}Mg_xNi_{3-4}$  для хімічних джерел струму // Фізико-хімічна механіка матеріалів 2015. – № 4. – С. 7–18.
3. Zavaliy I.Yu., Berezovets' V.V., Denys R.V. Nanocomposites Based on Magnesium for Hydrogen Storage: Achievements and Prospects (A Survey) // Materials Science. 2019; 54 : 611–626
4. Verbovytskyu Y.V., Berezovets V.V., Kytsya A.R., Zavaliy I.Y. Hydrogen Generation by the Hydrolysis of  $MgH_2$  // Materials Science. 2020; 56 : 1-14.
5. V.K. Pecharsky, P.Y. Zavaliy, Fundamentals of powder diffraction and structural characterization of materials. – Springer, 2005. – 713 p.
6. Шевченко Л. Кристалохімія. – Київ, 1993.
7. Hydrogen in Intermetallic Compounds I: Electronic, Thermodynamic, and Crystallographic Properties, Preparation (Topics in Applied Physics (63)) by Louis Schlapbach, P. Fischer, et al. Springer-Verlag 1988.
8. Hydrogen in Intermetallic Compounds II: Surface and Dynamic Properties, Applications (Topics in Applied Physics (67)) by Louis Schlapbach, R.C.Jr. Bowman, et al. Springer-Verlag 1992.

9. High temperature solid oxide fuel cells: fundamentals, design and applications / edited by S.C. Singhal and K. Kendall // Elsevier Advanced Technology, The Boulevard, Langford Lane, Kidlington Oxford OX5 1GB, UK, 2003. – 406 p.
10. Міцність і довговічність матеріалів для елементів паливних комірок / О.П. Остап, Б.Д. Василів, А.Д. Івасишин, В.Я. Подгурська // В кн.: Фундаментальні проблеми водневої енергетики / За ред. В.Д. Походенка, В.В. Скорохода, Ю.М. Солоніна. – К.: КІМ, 2010. – С. 447–467.
11. Вплив відновлювального і окиснювального середовищ на фізико-механічні властивості керамік  $\text{ScCeSZ-NiO}$  та  $\text{YSZ-NiO}$  / Б.Д. Василів, В.Я. Подгурська, О.П. Остап, О.Д. Васильєв, Є.М. Бродніковський // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2013. – № 2. – С. 5–13.
12. Вплив температури відновлювально-окиснювального циклування на структуру й фізико-механічні властивості кераміки  $\text{YSZ-NiO}$  / О.П. Остап, Б.Д. Василів, В.Я. Подгурська, О.Д. Васильєв, Є.М. Бродніковський // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2014. – 50, № 4. – С. 81–86.
13. Вплив відновлювального середовища на структуру і фізико-механічні властивості кераміки системи  $\text{ZrO}_2\text{-Y}_2\text{O}_3\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-NiO-CuO}$  / В.Я. Подгурська, Б.Д. Василів, О.П. Остап, І.А. Даніленко, А.В. Шило, В.В. Бурховецький // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2020. – 56, № 6. – С. 116–123.
14. Івасишин А.Д., Остап О.П., Пріхна Т.О., Подгурська В.Я., Басюк Т.В. Вплив технологічних середовищ на механічні і фізичні властивості матеріалів для паливних комірок // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2015. – № 2. – С. 7–14.
15. Остап О.П., Пріхна Т.О., Подгурська В.Я., Купрін О.С., Карпець М.В., Сverdун В.Б., Василів Б.Д., Сербенюк Т.Б. Легкі інтерконнекти для середньотемпературних (550...650 °С) паливних комірок. Фіз.-хім. механіка матеріалів. 2021. 57 (2). С. 7–12.

ПОГОДЖЕНО

Завідувачка випускової кафедри

д.т.н., проф.



І.М. Погрелюк