



МАТЕРІАЛИ ПАЛИВНИХ КОМІРОК

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>другий (магістерський)</i>
Галузь знань	<i>13 Механічна інженерія</i>
Спеціальність	<i>132 Матеріалознавство</i>
Освітня програма	<i>Освітньо-наукова програма Матеріалознавство</i>
Статус дисципліни	<i>Вибіркова</i>
Форма навчання	<i>Очна (денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>2 курс, осінній семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>5 кредитів/150 год: лекції – 36 год; лабораторні – 18 год, самостійна робота студента – 96 год.</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>екзамен / МКР</i>
Розклад занять	<i>https://roz.kpi.ua/</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектор: к.т.н., старший дослідник, доцент Бродніковський Є. М., bregor@ukr.net Лабораторні заняття: к.т.н., старший дослідник, доцент Бродніковський Є. М., bregor@ukr.net</i>
Розміщення курсу	<i>https://campus.kpi.ua/tutor/index.php?session=478952b96f5d</i>

Програманавчальної дисципліни

1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

Вивчаючи дисципліну, здобувачі узагальнюють власні знання з різних дисциплін та набувають нові навички вибору / створення матеріалів для складових паливних комірок (ПК). Особлива увага буде зосереджена на матеріалах керамічних та полімерних паливних комірок. ПК за своєю суттю є складним багатошаровим композитом (анод, електроліт, катод), кожна складова якого підбирається для забезпечення певних електрохімічних властивостей для ефективного вироблення електричної енергії з палива.

Метою навчальної дисципліни є підсилення у здобувачів **загальних компетентностей**:

- *здатність до системного мислення, аналізу та систематизації набутих знань;*
- *набуття нових знань щодо новітніх технологій енергетиці та матеріалів, які для забезпечують надійну роботу електрогенеруючих станцій на основі паливних комірок;*
- *прагнення до збереження навколишнього середовища;*

та фахових компетентностей:

- *здатність цілеспрямованого вибору матеріалів для складових ПК (анода, електроліту, катоду тощо);*
- *здатність використання матеріалознавчих підходів щодо вибору методів створення складного функціонального композиту, яким є КПК, і забезпечення його необхідних властивостей;*
- *здатність розраховувати ефективність роботи паливної комірки (генерації електричної енергії) при використанні різних видів палива;*

- здатність провести аналіз щодо підбору необхідного вмісту компонентів композиційного матеріалу та температури його спікання для забезпечення заданих властивостей (міцність, пористість, електропровідність).

Предмет навчальної дисципліни “Матеріали паливних комірок” – є вивчення зв’язку між властивостями матеріалів складових паливних комірок та забезпеченням проходження електрохімічної реакції горіння палива в паливних комірках.

Після засвоєння навчальної дисципліни здобувач повинен продемонструвати такі результати навчання:

- виявляти, формулювати і вирішувати матеріалознавчі проблеми і задачі пов’язані з вибором матеріалів складових паливних комірок задля підвищення її ефективності роботи;
- використовувати сучасні методи для виявлення, постановки та розв’язування винахідницьких задач в галузі матеріалознавства;
- розуміти основи роботи паливних комірок та, відповідно, принципи вибору матеріалів для її складових задля забезпечення надійної і довготривалої роботи.

2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)

Дисципліна викладається в третьому семестрі підготовки за другим (магістерським) рівнем вищої освіти. Дисципліна базується на компетентностях бакалаврського рівня спеціальності Матеріалознавство.

Знання, що здобувач отримає під час вивчення дисципліни “Матеріали паливних комірок” необхідні для виконання і підготовки до захисту магістерської дисертаційної роботи та формують інтегральну компетентність другого (магістерського) рівня.

3. Зміст навчальної дисципліни

Розділ 1. Вступ. Паливні комірки та водневі технології.

Розділ 2. Теоретичні засади роботи паливних комірок.

Розділ 3. Матеріали паливних комірок. Матеріали складових керамічних паливних комірок.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базовалітература

1. Відновлювані джерела енергії / за заг. ред. С. О. Кудрі. – Київ : Інститут відновлюваної енергетики НАНУ, 2020. – 392 с.

2. Структуроутворення керамічних матеріалів / Г. С. Олейник. – Київ : Наукова думка, 2018. – 352 с.

3. YouTube канал: «Перша воднева школа»: <https://www.youtube.com/channel/UCpHIC8TRKUb6zRlslkwfHIA>.

4. Оксидні наноматеріали. Синтез, управління структурою та властивостями / В. Малишев, Н. Куцевська, О. Папроцька. – Університет Україна, 2017. – 168 с.

5. Композитні та порошкові матеріали : навч. посібник / П. П. Савчук, В. П. Кашицький, М. Д. Мельничук, О. Л. Садова; за заг. ред. П. П. Савчука. – Луцьк : ФОП Теліцин О. В., 2017. – 368 с.

6. Кшнякин В. С. Основи фізичного матеріалознавства : навч. посіб. / В. С. Кшнякин, А. С. Опанасюк, К. О. Дядюра. – Суми : СумДУ, 2015. – 466 с.

Додаткова література

7. Керамічні паливні комірки. Лекції NATO Advanced Study Institute "Ceramic Fuel cells", Kyiv, April, 2012.

8. Singhal S.C. High-temperature Solid Oxide Fuel Cells: Fundamentals, Design and Applications / S. C. Singhal, K. Kendall // Elsevier: Oxford, U.K., 2003. – 406 p. – (ISBN 10: 1-85617-387-9, ISBN 13: 978-1-85617-387-2).

9. *Handbook of fuel cells-fundamentals, technology and application*, Eds.: W. Vielstich et al. *Fuel Cell Technology and Applications*, Wiley and Sons, Chichester, England, 2003. – Vol. 4 – P. 987.

10. Haile S. M. *Fuel cell materials and components* / S. M. Haile // *Acta Materialia*, 2003. – 51. – P. 5981– 6000.

11. Wincewicz K. C. *Taxonomies of SOFC material and manufacturing alternatives*/ K. C. Wincewicz, J. S. Cooper // *Journal of Power Sources*, 2005. – 140. – P. 280–296.

12. Molenda J. *Functional materials for the IT-SOFC* / J. Molenda, K. Swierczek, W. Zajac // *Journal of Power Sources*, 2007. – 173. – P. 657–670.

13. Gorte R. J. *SOFC anodes for the direct electrochemical oxidation of hydrocarbons* / R. J. Gorte, J. M. Vohs // *Journal of Catalysis*, 2003. – 216. – P. 477–486.

14. *Advanced anodes for hightemperature fuel cells* / A. Atkinson, S. Barnett, R.J. Gorte [et al.] // *Nature*, 2004. – 3. – P. 17–27.

15. *Recent Progress in the Development of Anode Materials for Solid Oxide Fuel Cells* / P. Cowin, C. Petit, R. Lan, J. Irvine, S. Tao // *Adv. Energy Mater.* 2011. – 1. – P. 314–332.

16. *Fuel Cell Handbook (Seventh Edition) 2004* / EG&G Technical Services, Inc. U.S. Department of Energy, Office of Fossil Energy, National Energy Technology Laboratory // <http://www.osti.gov/scitech/servlets/purl/834188>

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни

Зміст лекційних занять

Лекція 1-2. Вступ. Вплив енергетики на оточуюче середовище та кліматичні зміни. Відновлювальна та воднева енергетика[1-16].

Лекція 3-4. Історія розвитку паливних технологій паливних комірок. Типи паливних комірок. Література: [1-16].

Лекція 5-7. Теоретичні засади роботи ПК. Розрахунок ефективності роботи паливної комірки. Водень як паливо для паливних комірок. Література: [1-16].

Лекція 8. **Модульна контрольна робота.**

Лекція 9-10. Структура та властивості анодного електроду керамічної паливної комірки. Забезпечення електрохімічної реакція окиснення палива. Література: [1-16].

Лекція 11-12. Матеріали керамічних електролітів паливних комірок. Література: [1-16].

Лекція 13. Принцип роботи та функції катоду КПК. Матеріали катодного електроду КПК. Література: [1-16].

Лекція 14. Поєднання окремих паливних комірок в єдину електрогенеруючу систему. Матеріали з'єднувачів КПК. Література: [1-16].

Лекція 15. Полімерні паливні комірки. Принцип роботи та застосування. Література: [1-16].

Лекція 16. Матеріали та побудова полімерних паливних комірок. Література: [1-16].

Лекція 17-18. Матеріали та побудова полімерних паливних комірок. Література: [1-16].

Основні завдання циклу лабораторних занять:

- отримати нові знання щодо принципів створення функціонального матеріалу та впливу на його структуру та властивості.

- отримання практичних навичок з розрахунків ефективності роботи паливних комірок.

- ознайомлення з діяльністю Лабораторії Керамічних паливних комірок ІПМ НАН України.

Зміст лабораторних занять

1. Організація очного/дистанційного навчання. Проведення лекційних і лабораторних занять. Рейтингова система оцінювання. Багатофункціональні матеріали. (2 годин).

2. Вивчення особливостей виготовлення шихти з суміші оксидних порошоків (4 годин).

3. Вивчення особливостей ущільнення функціональної оксидної кераміки (4 годин).

4. Особливості виготовлення КПК (4 годин).

5. Визначення ефективності роботи паливної комірки (4 години).

6. Самостійна робота студента

Самостійна робота здобувачів (загальна тривалість 96 години) з дисципліни полягає в:

- самостійному опрацюванні літературних джерел для розширення розуміння лекційних тем, для детального ознайомлення з сучасним станом проблеми дослідження та розробки новітніх матеріалів паливних комірок – 36 годин;
- підготовці до виконання лабораторних занять – 24 години;
- підготовка до МКР – 6 години;
- підготовці до семестровий контроль екзамен – 30 годин.

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Система вимог, які ставляться перед здобувачем:

- У разі дистанційної форми навчання:
 - лекційні заняття проводяться з використанням платформи google-meet;
 - лабораторні заняття проходять з використанням платформи google-meet.
- Відвідування усіх видів занять є бажаним.
- Завдання пропущеного лабораторного заняття здобувач повинен виконати в час, узгоджений з викладачем.
- Під час усіх видів аудиторних занять забороняється використання мобільних телефонів у звуковому режимі, дозволяється обмежене використання месенджерів у беззвучному режимі.
- Заохочувальні бали можуть бути призначені за особливі успіхи у навчанні – переважно підготовка та подача реальних проектних пропозицій за тематикою власних наукових досліджень, курсового чи дипломного проектування. Сумарна кількість заохочувальних балів може складати до 10 % від стартових балів.
- Політикою дедлайнів передбачається необхідність своєчасного виконання завдань. Пропущену лекцію має бути опрацьована самостійно у вигляді конспекту, який подається на перевірку не пізніше 2-х тижнів з часу пропущеної лекції. Усі письмові документи мають бути захищені до закінчення теоретичного навчання в семестрі.
- Усі учасники освітнього процесу: викладачі і здобувачі в процесі вивчення дисципліни мають керуватись принципами академічної доброчесності, передбаченими «Кодексом честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»» <https://kpi.ua/code>.

8. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

Поточний контроль:

- Експрес-опитування на лекційних заняттях – максимум 1 бал, всього 16 балів.
- Тестування на лабораторних заняттях – максимум 5 балів, всього 20 балів.
- Модульна контрольна робота у письмовому вигляді проводиться на 8-му навчальному тижні. Максимальна оцінка 14 бали. Питання на МКР зазначені в додатку А.
- Календарний контроль: проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу: щоб отримати позитивний результат у першому календарному контролі, необхідно мати мінімум 10 балів, другого – мінімум 20 балів.

Семестровий контроль: екзамен.

Максимальна кількість стартових балів складає – 50. Умови допуску до семестрового контролю: виконання та захист усіх лабораторних робіт та МКР.

Екзамен проводиться у вигляді письмової роботи і включає 3 теоретичних питання зі списку Додатку Б, на підготовку яких виділяється 2 академічні години. На екзамені студент може отримати максимальну кількість балів – 50 за 100-бальною шкалою, відповідно:

- «відмінно», повна відповідь, не менше 90% потрібної інформації, що виконана згідно з вимогами до рівня «умінь», (повне, безпомилкове розв'язування завдання);

- «добре», достатньо повна відповідь, не менше 75% потрібної інформації, що виконана згідно з вимогами до рівня «умінь або є незначні неточності (повне розв’язування завдання з незначними неточностями);
- «задовільно», неповна відповідь, не менше 60% потрібної інформації, що виконана згідно з вимогами до «стереотипного» рівня та деякі помилки (завдання виконане з певними недоліками);
- «незадовільно», відповідь не відповідає умовам до «задовільно».

Оцінка за відповідь знижується – за принципові помилки у відповіді на 15-10 балів, за неповну відповідь на 7-4 балів, за неправильне використання термінів на 3 бали.

Після оцінювання відповідей на екзамені (виконання екзаменаційної контрольної роботи) підсумовуються стартові бали та бали за екзамен, зводяться до рейтингової оцінки та переводяться до оцінок за університетською шкалою (таблиця).

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

Кількість балів	Оцінка
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре
84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не виконані умови допуску	Не допущено

8.1. Критерії нарахування балів.

Модульна контрольна робота.

Сумарна максимальна оцінка складає 14 балів, відповідно:

- 12 балів – повна відповідь, не менше 90% потрібної інформації, що виконана згідно з вимогами до рівня «умінь», (повне, безпомилкове розв’язування завдання);
- 10 балів – достатньо повна відповідь, не менше 75% потрібної інформації, що виконана згідно з вимогами до рівня «умінь або є незначні неточності (повне розв’язування завдання з незначними неточностями);
- 8 балів – неповна відповідь, не менше 60% потрібної інформації, що виконана згідно з вимогами до «стереотипного» рівня та деякі помилки (завдання виконане з певними недоліками);
- 0 балів – відповідь не відповідає умовам до «задовільно».

Лабораторні роботи.

Виконане завдання лабораторної роботи 1, 2, 3, 4максимально оцінюється у 5 балів:

- повна відповідь, не менше 90% потрібної інформації, що виконана згідно з вимогами до рівня «умінь», (повне, безпомилкове виконання);
- достатньо повна відповідь, не менше 75% потрібної інформації, що виконана згідно з вимогами до рівня «умінь або є незначні неточності (повне виконання з незначними неточностями);
- неповна відповідь, не менше 60% потрібної інформації, що виконана згідно з вимогами до «стереотипного» рівня та деякі помилки (робота виконана з певними недоліками);
- відповідь не відповідає умовам до «задовільно».

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

- Перелік питань екзаменаційної контрольної роботи знаходиться в Додатку Б.
- Лабораторні роботи плануються з максимальним використанням обладнання лабораторій ЦККНО «Матеріалознавство тугоплавких сполук та композитів» при ІМЗ ім. Є.О. Патона та Лабораторії Керамічних паливних комірок Інституту проблем матеріалознавства НАН України, яке застосовується при одержанні та дослідженні широкого спектру порошкових, композиційних матеріалів та покриттів. Особлива увага

при лабораторних роботах приділяється розрахунковим завданням. Лекційний курс планується таким чином, щоб розглянути принцип роботи паливних комірок, вибір та принципи створення новітніх матеріалів для складових керамічної паливної комірки для забезпечення проходження електрохімічної реакції окиснення палива. Лабораторні роботи проводяться у такій послідовності, щоб максимально ознайомити студентів із основними принципами створення композиційних матеріалів та наступного визначення їх основних властивостей в залежності від структури та фазового складу.

- *Результати навчання за даною дисципліною здобуті у неформальній/інформальній освіті, зокрема із використанням відкритих навчальних он-лайн курсів (Prometeus, Coursera тощо), визнаються за умови одержання відповідних сертифікатів. При цьому може бути перезарахований як освітній компонент повністю, так і його окремі складові (змістовні модулі, окремі теми, окремі практичні заняття). Можливість перезарахування (відповідність змісту дисципліни) та обсяг навчальних годин визначається викладачем для кожного конкретного випадку і здійснюється за процедурою, яка відповідає "Положенню про визнання в КПІ ім. Ігоря Сікорського результатів навчання, набутих у неформальній/інформальній освіті".*

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено доцент, к.т.н, старший дослідник Бродніковський Є. М.

Ухвалено кафедрою ВТМ та ПМ (протокол № 9 від 14 лютого 2024 р.)

Погоджено Методичною комісією НН ІМЗ ім. Є.О. Патона (протокол № 6/25 від 19 лютого 2025 р.)

Перелік питань модульної контрольної роботи

1. Принцип роботи паливних комірок (ПК). Рушійна сила.
2. Розвиток технології ПК. Основні перепони впровадження технології.
3. Ідея водневої енергетики. Чому водень обрано за енергоносієм?
4. Тенденції розвитку ринку паливних комірок та водневих технологій.
5. Типи паливних комірок. Різниця між типами паливних комірок.
6. Функція паливного електроду (аноду) керамічної паливної комірки. Реакційна зона. Границя трьох фаз.
7. Розрахункова задача по роботі паливних комірок.
8. Переваги та недоліки полімерних та керамічних паливних комірок. Особливості підбору матеріалів складових КПК.
9. Функція повітряного електроду КПК.
10. Функція керамічного електроліту паливної комірки.
11. Переваги та недоліки традиційної енергетики з альтернативною (відновлюваною та водневою) енергетикою