

The NURECAB webinar "Small Modular Reactors" December 23, 2024

Завідувач кафедри
Парогенераторобудування НТУ
«ХПІ» професор, д.т.н. ЄФІМОВ
Олександр Вячеславович та аспірант
кафедри ПГБ, група АВ-2123
СИДОРКІН Ігор Дмитрович
отримали запрошення та прийняли
участь у європейському проекті
«EU-UA nuclear research and
education capacity building»
(NURECAB, Euratom - Horizon
Europe) на базі якого пройшов
вебінар «The NURECAB webinar
"Small Modular Reactors"» Науковці
кафедри прийняли участь у
обговоренні після виступу
доповідача, а аспірант підсилив
свою участь презентацією..

Шановні колеги,
Нагадуємо, що в рамках
реалізації європейського
проекту «EU-UA nuclear
research and education
capacity building» (NURECAB,
Euratom - Horizon Europe)
відбудеться **вебінар «The
NURECAB webinar "Small
Modular Reactors"»** 23 грудня
в онлайн форматі.
Доповідач: Professor Marco
Ricotti (Politecnico di Milano -
POLIMI), The President of
CIRTEN
Початок: 11-30 за київським
часом тривалість заходу 2
години.

Захід проходитиме у Zoom,
посилання нижче.
Мова: англійська.

Серед питань, які будуть
освітлені, можна виділити:

1. European Industrial Alliance
on Small Modular Reactors.
2. Overview of alliance projects
(initiatives).
3. From SMR technologies to
exp testing and economics.

Для тих, хто ще не
zareєструвався на захід,
посилання на коротку гугл-
форму: [https://forms.gle/
qY8fTos8crCvpm5](https://forms.gle/qY8fTos8crCvpm5)

Запрошуємо зацікавлених
колег і студентів долучитися!

Topic: The NURECAB webinar
on Small Modular Reactors

Time: Dec 23, 2024 11:30 AM

Kyiv

Join Zoom Meeting

[https://us06web.zoom.us/j/
89056488890?pwd=](https://us06web.zoom.us/j/89056488890?pwd=TywrtnVzlu7Llh3d4Vf8hsJD0pQugX.1)

[TywrtnVzlu7Llh3d4Vf8hsJD0p
QugX.1](https://us06web.zoom.us/j/89056488890?pwd=TywrtnVzlu7Llh3d4Vf8hsJD0pQugX.1)

Meeting ID: 890 5648 8890

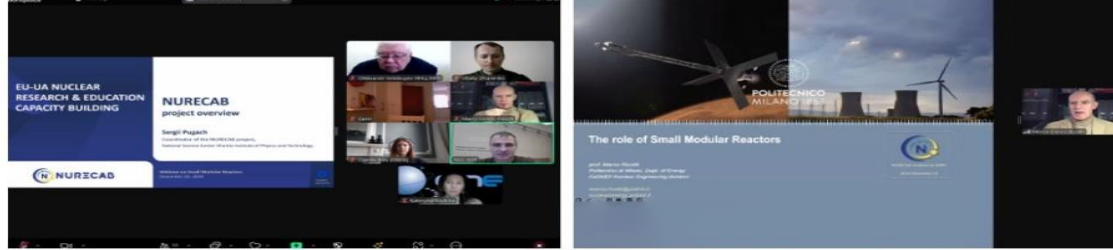
Passcode: 836000

З повагою,
NURECAB Coordination team

The NURECAB webinar on Small Modular Reactors



On December 23, the webinar “Small Modular Reactors,” organized by the European Nuclear Education Network (ENEN) in collaboration with the National Science Center Kharkiv Institute of Physics and Technology and UA NCP to Euratom, was held as part of the implementation of the NURECAB project. The event was attended by specialists, scientists and students who are researching modern technologies in nuclear energy.



The event was opened by **Serhii Pugach**, *NURECAB project coordinator (Euratom NCP on Nuclear Fission, NSC KIPT)*, who provided a brief overview of the NURECAB project and spoke about the mobility program for the Ukrainian community in nuclear research, education and innovation.



The keynote speaker was **Professor Marco Ricotti**, *President of CIRTEN and Professor at Politecnico di Milano (POLIMI)*. He gave a detailed presentation in which he shared his experience and expertise in the field of small modular reactors (SMR). Professor Ricotti provided an overview of existing types of SMRs, safety issues and a view on the economics of SMRs, as well as a view on the prospects for the development of SMRs.



Webinar materials:

[The role of Small Modular Reactors – Professor Marco Ricotti \(Politecnico di Milano – POLIMI\), The President of CIRTEN](#)



Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»



КАФЕДРА ПАРОГЕНЕРАТОРОБУДУВАННЯ
Навчально-науковий інститут енергетики, електроніки та електромеханіки НТУ «ХПІ»

Аналіз наукових досліджень, спрямованих на покращення палива та нейтронопоглинаючих елементів активної зони



Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»



КАФЕДРА ПАРОГЕНЕРАТОРОБУДУВАННЯ
Навчально-науковий інститут енергетики, електроніки та електромеханіки НТУ «ХПІ»

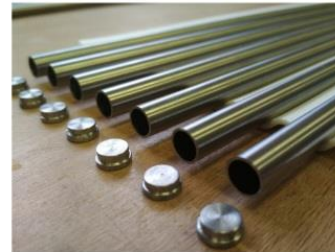
На сьогоднішній день багато глобальних наукових досліджень спрямовані на покращення властивостей палива та нейтронопоглинаючих елементів активної зони ядерного реактора. Основою цих різних досліджень є серія фізичних лабораторних експериментів для оцінки відповідних властивостей ядерних конструкційних матеріалів, паливних стрижнів та поглинаючих стрижнів: термофізичних характеристик, показників корозійної стійкості, радіаційної стійкості та їх термічної стійкості



Нормальна робота реактора - процес випромінювання робить незначний внесок у передачу тепла. Частка теплового випромінювання у теплопровідності контакту паливної-оболонки при температурах від 300 до 500 °C становить ~ 2%

Важкі аварійні сценарії - частка теплового випромінювання може зростати до 33% при температурі 1000 °C

Температуру оболонки палива можна знизити, збільшивши випромінювальну здатність завдяки покриттю з радіаційними характеристиками, що перевищують характеристики Zr1Nb. Нанесене покриття також повинно забезпечувати високу стійкість оболонки палива у випадку реакції цирконію з паром.



Було проведене дослідження теплових характеристик і випромінювальної здатності різних покриттів на конструкційних матеріалах. Метою є дослідження зразків оболонок палива (зі сплаву Zr1Nb) з різними окислювально-захисними цирконієвими покриттями.

Нагрівальний елемент складається з циліндричного мідного корпусу довжиною 50 мм і внутрішньої опору печі, виготовленої з дроту діаметром 0,15 мм, який біфілярно намотаний на керамічну трубу. Ізоляція між спіральними котушками нагрівача та на їх зовнішній поверхні була виготовлена з суміші порошку оксиду берилію з "рідким склом", яка після сушіння була запечена при температурі 600 °C.

У експериментах використовували зразки з різним станом поверхні: 1) початковий стан, 2) поверхня, очищена іонами (ICS), 3-5) поверхневий шар, окислений протягом різного часу експозиції, 6-7) покритий шаром Cr різної товщини, 8) покритий шаром Cu.

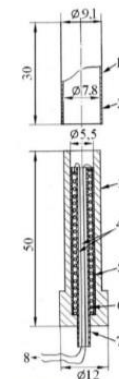
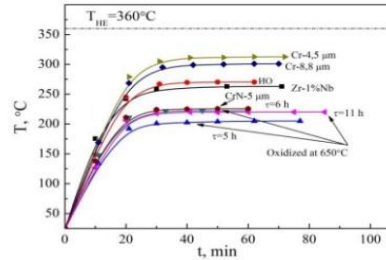


Fig. 1. Diagram of thermophysical measurements of samples: 1 – thermocouple facing point; 2 – sample; 3 – copper block; 4 – heater terminals; 5 – electrical insulation; 6 – filament heater; 7 – ceramic pipe; 8 – wires connecting the power source

Кінетика досягнення теплової рівноваги у зразках оболонки палива з різним станом поверхні (початковий стан поверхні, поверхня, очищена іонами, окислена поверхня, поверхня, покрита хромом, хром-нітрид) після ввімкнення нагрівального елемента.

Металеві покриття демонструють вищі значення. Мідне покриття, порівняно з іншими металевими покриттями (Cr товщиною 4,5 мкм і Cr товщиною 8,8 мкм), характеризується мінімальним значенням $\Delta T = T_{HE} - T_s$. Мідь має вищу теплопровідність і електропровідність. CrN є напівпровідником, а чистий діоксид цирконію є хорошим ізолятором – у ньому майже відсутня іонна провідність.



Sample	Temperature of heating element surface T_{HE} , K	Temperature of sample outer surface T_s , K	Emissivity, ϵ	Radiation heat transfer coefficient α , $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$
Zr1Nb	633	541	0.20	3.64
Cr coating, 4.5 μm	633	586	0.14	3.04
CrN coating, 5 μm	633	500	0.28	4.29
Cu coating, 1 μm	643	612	0.12	2.87

Відповідно до розрахунків найвище значення випромінювального теплопередачі демонструє покриття CrN, яке характеризується також найвищою емісією. Отже, паливні елементи з покриттям CrN, які мають високу стійкість до реакції цирконію з паром, можуть забезпечити ефективну передачу тепла завдяки тепловому випромінюванню у разі аварії з втратою теплоносія.

Результати досліджень термофізичних властивостей оболонок паливних стрижнів з сплаву Цирконія з 1% ніобія Zr1%Nb з різними покриттями:

- Автори показали, що покриття оболонки з Нітридом Хрома CrN підвищує її надійність при аварії з втратою теплоносія.
- Дослідження впливу параметрів термохімічної обробки і режимів цирконієвих сплавів оболонки паливних стрижнів показали, що обробка в газовому середовищі підвищує корозійну стійкість оболонки.

Під час експлуатації цирконієві оболонки паливних елементів (паливні трубки) ядерних реакторів піддаються впливу агресивного середовища в охолоджувачі. Через взаємодію цирконію з охолоджувачем або паро-водяною сумішшю виділяється водень, котрий може погіршувати фізико-механічні властивості конструкційних матеріалів і зменшує їх термін служби. Також слід зазначити, що при високих температурах збільшується ймовірність паро-цирконієвої реакції, яка, у свою чергу, може призвести до накопичення водню та має вибухонебезпечний характер.

Розробка режимів термічної обробки цирконієвих сплавів в газових середовищах, що містять кисень і азот, яка забезпечить зменшення їх насичення воднем і не знижуватиме їх механічні властивості, зокрема, довготривалу міцність, є актуальним завданням сучасної науки про реакторні матеріали.

Термохімічна обробка (ТСТ) є одним із ефективних методів контролю структури та характеристик близькоповерхневих шарів металів, що покращує їх фізичні та механічні властивості. Завдяки ТСТ можливо формувати бар'єрні шари для водню. Захисний близькоповерхневий шар може бути отриманий шляхом обробки в контрольованому кисневому або азотному газовому середовищі. Контроль газодинамічних та температурно-часових параметрів ТСТ забезпечує формування різних товщин і складів зміненого шару з широким спектром функціональних властивостей.

Також слід зазначити, що такий шар є оксидом або нітридом і дифузійним переходним шаром, завдяки чому вони міцно прилягають до матриці. Таким чином, їх відокремлення від виробу виключено. Розробка режимів теплової обробки цирконієвих сплавів в кисневому та азотному газових середовищах, які забезпечать зменшення їх насичення воднем і не зменшать їх механічні властивості, зокрема довготривалу міцність, є актуальним завданням сучасної матеріалознавства для реакторів.

Мета дослідження вивчення впливу термохімічної обробки в кисневому та азотному газових середовищах на проникнення водню в поверхневий шар та на довгострокову міцність зразків, відібраних з паливної труби з цирконієвого сплаву Zr-1% Nb

Зразки були насичені газоподібним воднем ("сухе" воденьування)
Концентрацію водню у насичених воднем зразках визначали гравіметричними та металографічними методами

Розчинення міжвузлових елементів (кисню, азоту) у цирконієвих сплавах пов'язане з деформацією кристалічної решітки, внаслідок чого твердість значно зростає. Тому збільшення твердості близькоповерхневого шару свідчить про те, що в результаті термохімічної обробки він був збагачений міжвузловими елементами

No.	Processing modes	Conditional designation	
		TCT	TCT + saturation hydrogen
Vacuum annealing			
1	$T = 580 \text{ }^\circ\text{C}$, $P = 1.33 \cdot 10^{-2} \text{ Pa}$, $\tau = 3 \text{ h}$	R0	R0+H ₂
Oxygenated environment			
2	$T = 580 \text{ }^\circ\text{C}$, $P = 1.33 \text{ Pa}$, $\tau = 0.5 \text{ h} +$ $+T = 580 \text{ }^\circ\text{C}$, $P = 1.33 \cdot 10^{-2} \text{ Pa}$, $\tau = 2.5 \text{ h}$	R1	R1+H ₂
3	$T = 580 \text{ }^\circ\text{C}$, $P = 1.33 \text{ Pa}$, $\tau = 3 \text{ h}$	R2	R2+H ₂
Nitrogen-containing environment			
4	$T = 650 \text{ }^\circ\text{C}$, $P = 1.33 \cdot 10^{-3} \text{ Pa}$, $\tau = 1 \text{ h} + T = 580 \text{ }^\circ\text{C}$, $P = 1.01 \cdot 10^2 \text{ Pa}$, $\tau = 10 \text{ h}$	R3	R3+H ₂
5	$T = 580 \text{ }^\circ\text{C}$, $P = 1.33 \cdot 10^{-3} \text{ Pa}$, $\tau = 1 \text{ h} + T = 580 \text{ }^\circ\text{C}$, $P = 1.01 \cdot 10^3 \text{ Pa}$, $\tau = 9 \text{ h}$	R4	R4+H ₂

- Насичення воднем призводить до зменшення твердості поверхневого шару сплаву Zr-1% Nb, що був підданий термохімічній обробці в кисневому та азотному середовищах;

- Обробка цирконієвого сплаву Zr-1% Nb в кисневому та азотному середовищах збільшує стійкість до насичення воднем;

- Насичення воднем як окисдованих, так і нітридованих цирконієвих сплавів Zr-1% Nb має позитивний ефект на стійкість до руйнування під статичним навантаженням при кімнатній температурі;

- Насичення воднем нітридованого цирконієвого сплаву Zr-1% Nb дозволяє збільшити міцність під статичним навантаженням при температурі $T = 380\text{ }^{\circ}\text{C}$ в порівнянні з обробкою у вакуумі.

TCT mode / + saturation hydrogen	Hardness surfaces, HV ^{surf}	Hardness matrices, HV ^{core}	Growth hardness ΔHV	The size hardened layer <i>l</i> , μm
R0 / R0+H ₂	260±25 / 180±20	170±15 / 175±10	90 / 5	15...19 / 20...23
R1 / R1+H ₂	275±20 / 175±20	170±15 / 165±10	105 / 10	22...27 / 29...33
R2 / R2+H ₂	310±25 / 210±20	170±15 / 165±10	140 / 45	19...24 / 24...32
R3 / R3+H ₂	315±15 / 210±15	170±15 / 165±15	145 / 45	34...39 / 36...43
R4 / R4+H ₂	320±15 / 185±20	170±15 / 180±10	150 / 5	32...37 / 23...37

Дослідження впливу параметрів термохімічної обробки і режимів цирконієвих сплавів оболонки паливних стрижнів показали, що обробка в газовому середовищі підвищує корозійну стійкість оболонки

Аналіз результатів наукових досліджень, показує актуальність завдання покращення та оптимізації властивостей тепло-випромінюючих та нейтронопоглинаючих елементів активних зон реакторів АЕС для українських ядерних технологій.

