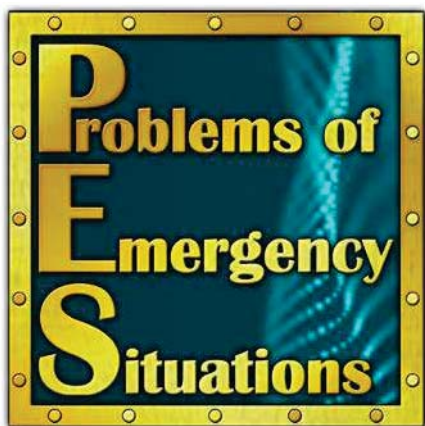


ДЕРЖАВНА СЛУЖБА УКРАЇНИ З НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ УКРАЇНИ

---



Міжнародна  
науково-практична конференція

Проблеми  
надзвичайних  
ситуацій

**МАТЕРІАЛИ КОНФЕРЕНЦІЇ**

Харків  
19 травня 2023 року

*Редакційна колегія*

**САДКОВИЙ Володимир**, доктор наук з державного управління, професор, ректор Національного університету цивільного захисту України (Україна);

**АНДРОНОВ Володимир**, доктор технічних наук, професор, Заслужений діяч науки і техніки України, Національний університет цивільного захисту України (Україна);

**БАМБУРА Андрій**, доктор технічних наук, професор, ДП «Науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» (Україна);

**ВАСИЛЬЧЕНКО Олексій**, кандидат технічних наук, доцент, Національний університет цивільного захисту України (Україна);

**ВАСЮКОВ Сергій**, PhD, Національний інститут ядерної фізики (Італія);

**GEROLIN Augusto**, PhD, Faculty of Sciences University of Ottawa (Canada);

**ГОЛІНЬКО Василь**, доктор технічних наук, професор, НТУ «Дніпровська політехніка» (Україна);

**ГОЛОДНОВ Олександр**, доктор технічних наук, професор, ТОВ «Стальпроектконструкція ім. В. М. Шимановського» (Україна);

**ДАДАШОВ Ільгар**, доктор технічних наук, Академія Міністерства надзвичайних ситуацій Азербайджанської Республіки (Азербайджан);

**ДАНЧЕНКО Юлія**, доктор технічних наук, професор, Національна академія Національної гвардії України (Україна);

**КОНДРАТЬЄВ Андрій**, доктор технічних наук, професор, Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова (Україна);

**МИХАЙЛОВСЬКА Юлія**, PhD, Національний університет цивільного захисту України (Україна);

**ОТРОШ Юрій**, доктор технічних наук, професор, Національний університет цивільного захисту України (Україна);

**ПЕТРУК Василь**, доктор технічних наук, професор, Вінницький національний технічний університет (Україна);

**РИБКА Євгеній**, доктор технічних наук, професор, Національний університет цивільного захисту України (Україна);

**РОМІН Андрій**, доктор наук з державного управління, професор, Національний університет цивільного захисту України (Україна);

**СЕМКО Володимир**, доктор технічних наук, професор, Інституту будівництва факультету цивільної та транспортної інженерії Познанської Політехніки, Познань, (Польща);

**SKATKOV Leonid**, PhD, Ben Gurion University of Negev (Israel);

**СУР'ЯНІНОВ Микола**, доктор технічних наук, професор, Одеська державна академія будівництва та архітектури (Україна);

**TURUTANOV Oleh**, PhD, Comenius University (Slovakia)

*Відповідальний секретар:*

**РАШКЕВИЧ Ніна**, PhD, Національний університет цивільного захисту України (Україна)

**Problems of Emergency Situations:** Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції. Харків : Національний університет цивільного захисту України, 2023. 464 с.

Видання містить матеріали міжнародної науково-практичної конференції «**Problems of Emergency Situations**», яка відбулася на базі Національного університету цивільного захисту України, за такими тематичними напрямками: запобігання надзвичайним ситуаціям; науково-практичні аспекти моніторингу та управління у сфері цивільного захисту; реагування на надзвичайні ситуації та ліквідація їх наслідків; хімічні технології та інженерія, радіаційний та хімічний захист; екологічна безпека та охорона праці.

*Рекомендовано до друку вченою радою факультету пожежної безпеки  
(протокол № 8 від 17 квітня 2023 року).*

**ВСТАНОВЛЕННЯ КІНЕТИЧНИХ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ КОРОЗІЇ ТРУБ ЗІ СПЛАВІВ Zr1Nb**

*Гапон Ю.К., к.т.н., доцент,  
Кустов М.В., д.т.н., доцент,  
Михайловська Ю.В., PhD, с.н.с.,  
Чиркіна М.А., к.т.н., доцент*

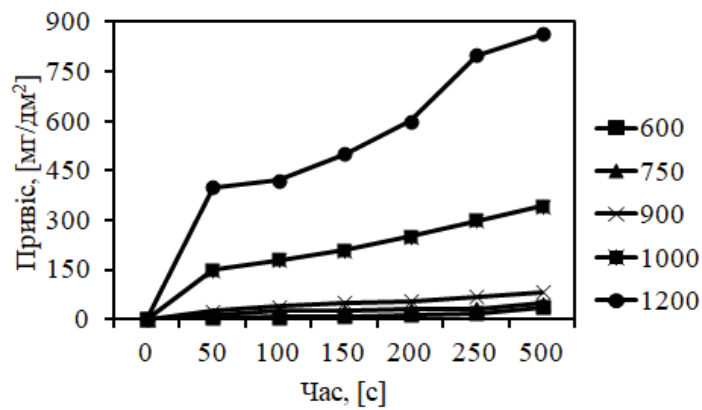
*Національний університет цивільного захисту України*

Еволюційні напрямки світової енергетики на початку нового століття стали однією з самих актуальних проблем цивілізованого світу. Сучасні тенденції розвитку світового ринку свідчать про трансформації структури енергетичної галузі – з традиційної теплоенергетики на атомну. На користь атомної енергетики говорить її відносна невелика вартість, доступність, відсутність викидів продуктів згорання, а також наявність достатніх світових запасів урану. Так, наприклад, Китай приблизно має 50-60 тисяч тон запасів природного урану, що теоретично достатньо для забезпечення своїх АЕС на декілька десятиліть.

Безпека ядерної енергетики набула особливої актуальності після аварій на Чорнобильській (Україна) та Першій Фукусимській (Японія) АЕС, що поставило під сумнів перспективи розвитку цієї галузі. Аварія, що сталася 26 квітня 1986 р. на четвертому енергоблоці Чорнобильської АЕС, класифікується за міжнародною шкалою ядерних інцидентів (International Nuclear Event Scale – INES), як тяжка аварія найвищого, сьомого рівня. В її результаті повністю зруйновано активну зону реакторної установки та викинуто в навколишнє природне середовище величезну кількість радіоактивних речовин. Велика кількість працівників із числа експлуатаційного персоналу та пожежної охорони атомної станції отримали значні дози опромінення. З районів України, Білорусі та Росії, що зазнали значного радіоактивного забруднення, евакуйовано близько 300 тисяч людей

Одним з принципів практичної реалізації світової енергетичної політики в атомній енергетиці, вплив якої на зміни клімату суттєво менше, ніж теплової, є мінімізація ймовірності виникнення ядерних інцидентів та аварій на енергоблоках АЕС з одночасним підвищенням їх теплової ефективності [1]. Цей принцип може бути реалізований за рахунок цілого ряду факторів, в тому числі, удосконалення та оптимізації теплових схем і параметрів технологічних процесів енергоблоків АЕС з реакторами різних типів, оптимального вибору сучасних і перспективних теплоносіїв і конструкційних матеріалів активних зон ядерних реакторів і парогенераторів, оптимізації режимів роботи енергоблоків АЕС на основі сучасних методів математичного моделювання.

Вивчення кінетики корозії труб з сплавів Zr1Nb поділені на два етапи. Перший етап – дослідження кінетики протягом від 1 до 500 годин із нагріванням, хоча максимальний час протікання аварії згідно з [17, 18] може бути менше. Кінетичні залежності корозійних змін приросту по масі від часу при температурах в діапазоні 600–1200°C наведені на рис. 1. Максимальна товщина оксидної плівки становить 7–9 мкм при температурі 1200°C. З визначення кута нахилу залежності  $\ln K = f(1/T)$  обчислено енергію активації процесу окислення, яка для зазначених діапазонів температур та інтервалу часу випробувань (понад 20 с. від початку випробувань) склала величини 174.59 кДж/моль. Цей температурний діапазон практично повністю охоплює поле температур проектних аварій.



**Рис. 1.** Залежності приросту по масі від часу при корозійному руйнуванні досліджувальних зразків зі сплаву Zr1Nb при температурах в діапазоні 600-1200 °С.

Другий етап – випробування при більш тривалому часі витримки, що дозволяє більш повно оцінити корозійну стійкість оболонок ТВЕЛів та оцінити час до зниження захисних характеристик оболонок ТВЕЛів.). Зміну величин приросту ваги за рахунок збільшення товщини оксидних плівок в процесі корозії від часу при різних температурах в діапазоні 600–1200 °С при тривалості випробувань від 1 до 10 год показано в таблиці 1.

**Таблиця 1.** Зміна товщини оксидних плівок та приросту по масі на трубках зі сплаву цирконію при витримці в інтервалі підвищених температур від 660...1200 °С протягом 1...10 год

Температура, [°С]	Привіс по масі, [мг/дм <sup>3</sup> ]/товщина оксиду, [мкм]				
	2 години	4 години	6 години	8 години	10 години
600	50/1	60/3	75/5	80/7	120/10
750	100/17	250/20	300/24	350/27	400/34
900	500/34	600/47	750/55	–	–
1000	1250/84	1500/120	–	–	–
1200	3250/220	–	–	–	–

– \* відсутність значень пов’язана із руйнуванням зразків.

Аналіз кривих показав, що за вказаний час процес окислення описується законом, близьким до параболічного. При утворенні суцільних плівок ( $V_{\text{оксидної плівки}}/V_{\text{металу}} > 1$ ) закон їх зростання визначаються закономірністю процесів дифузії частинок окислювача і металу, якими можуть бути катіони, аніони і електрони (дифузійний контроль процесу окислення). Відповідно до першого закону дифузії Фіка молярний потік речовини та швидкість зростання товщини плівки ( $dh/dt$ ) дорівнюють:  $J = -D \cdot dC/dt$ ,  $J = -C \cdot dh/dt$ , де  $h$  – товщина окисної плівки (см),  $D$  – коефіцієнт дифузії (см<sup>2</sup>/с),  $C$  – концентрація компонента (іон/см<sup>3</sup>).

## ЛІТЕРАТУРА

1. Hapon Yu., Kustov M., Chyrkina M. and Romanova O. Multistage Corrosion of Fuel Element Materials in Nuclear Reactors. Solid State Phenomena. 2022. V. 334. P. 63–69.