



ПРЕЗИДІЯ НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ

## ПОСТАНОВА

18.10.2023

м. Київ

№ 355

Розроблення та удосконалення  
радіаційностійких конструкційних  
матеріалів для ядерної енергетики України

Заслухавши й обговоривши доповідь завідувача відділу фізики радіаційних явищ і радіаційного матеріалознавства Інституту фізики твердого тіла, матеріалознавства та технологій Національного наукового центру «Харківський фізико-технічний інститут» (ННЦ «ХФТІ») доктора фізико-математичних наук Г.Д.Толстолицької «Розроблення та удосконалення радіаційностійких конструкційних матеріалів для ядерної енергетики України», Президія НАН України відзначає важливість та ефективність досліджень фахівців НАН України, спрямованих на потреби ядерно-енергетичного комплексу України, а також вагомі результати співробітництва установ НАН України з ДП «Національна атомна енергогенеруюча компанія «Енергоатом».

Ядерна генерація забезпечує близько чверті екологічно чистої електроенергії у світі. Слід зазначити, що для діючих і перспективних ядерних установок наступного покоління радіаційне матеріалознавство є вкрай важливим, оскільки опромінення впливає на деградацію вихідних фізико-механічних характеристик та розмірну стабільність матеріалів. Сьогодні безпечна та економічна робота атомних станцій потребує насамперед подовження терміну експлуатації діючих енергоблоків АЕС, зокрема обґрунтування термінів безпечної експлуатації корпусів, прогнозування деградації матеріалів внутрішньокорпусних пристроїв та контролю за обладнанням й трубопроводами другого контуру.

Для безпечної експлуатації об'єктів ядерної енергетики та подовження терміну їх експлуатації фахівці ННЦ «ХФТІ» розробили ефективні методи оцінювання ресурсу діючих об'єктів енергоблоків АЕС. Зокрема, проведено дослідження та комплексний аналіз процесів старіння основного металу (ОМ) головних циркуляційних трубопроводів (ГЦТ) Південноукраїнської АЕС після 100 та 200 тисяч годин експлуатації. Розрахунки прогнозованого залишкового ресурсу показали, що ресурс ГЦТ визначається ресурсом ОМ з дрібнозернистою вихідною структурою. Результати виконаних робіт зумовили можливість подовження експлуатації ГЦТ 1-го та 2-го енергоблоків Південноукраїнської АЕС після 200 тисяч годин експлуатації.

У співпраці з Національним технічним університетом «Харківський політехнічний інститут» виконано чисельні дослідження впливу різних факторів на формозміну елементів внутрішньокорпусних пристроїв реактора (ВКП) (вигородка, твели, елементи кріплення) в умовах дії термосилових та радіаційних полів. Створено нові підходи, вдосконалено методи чисельного моделювання процесів довготривалого деформування моделей конструктивних елементів ВКП ядерного реактора АЕС. Встановлено, що максимальні значення деформацій за 60 років становитимуть приблизно 5,5%. А максимальні переміщення точок вільної вигородки назовні не перевищує 0,4 см, всередину – 1 см, що свідчить про ймовірну відсутність контакту з паливом.

Для досягнення ефективності та конкурентоспроможності ядерного палива постає завдання вдосконалення сплаву для труб оболонок тепловідільних елементів (ТВЕЛ) і комплектувальних тепловідільних збірок (ТВЗ) з метою підвищення ресурсу їхньої роботи до 5-6 років. Науковці ННЦ «ХФТІ» вивчили вплив мікрододатків у сплаві  $Zr1\%Nb$  на корозійні, радіаційні та механічні властивості, а також оптимізували їхній склад для забезпечення проектного запасу і стабільності опору формозміни оболонок ТВЕЛів.

Пошук конструкційних матеріалів, що мають найкращі характеристики в екстремальних умовах, таких як висока температура (до 1000 °C у високотемпературних реакторах), високий тиск, сильна корозія (корозія в реакторах із розплавленою сіллю) і високі рівні пошкоджень під час опромінення (до 200 зсувів на атом (dpa)), є вкрай необхідним і актуальним, зокрема для створення ядерних реакторів четвертого покоління. У цьому контексті імітаційні технології, розроблені у ННЦ «ХФТІ», значно скорочують час і матеріальні ресурси під час вибору й оптимізації хімічного складу, термічної та термомеханічної обробки кандидатних матеріалів різного типу реакторів. Імітаційні технології і методики затребувані міжнародною ядерною спільнотою, зокрема Pacific Northwest National Laboratory (Richland, USA), University of Latvia (Riga, Latvia), Texas A&M University (College Station, TX, USA).

У рамках створення та кваліфікації інноваційних матеріалів із найкращою стійкістю до корозії, температури та опромінення для очікуваних умов експлуатації передових технологій ділення (включаючи дослідницькі реактори та SMR) фахівцями ННЦ «ХФТІ» у колаборації з Центром енергетичних, екологічних і технологічних досліджень (CIEMAT, Іспанія) розроблено новий технологічний процес керування структурою феритно-мартенситних сталей, що зменшує їхню здатність до радіаційного розпухання й окрихчення. Також розроблено новітні матеріали, толерантні до високого рівня радіації – дисперснозміцнені оксидами сталі (ДЗО-сталі), радіаційне розпухання яких удвічі менше, ніж базової сталі. За радіаційною стійкістю і міцнісними характеристиками ДЗО-сталі є перспективними для виготовлення внутрішньокорпусних елементів і пристроїв як у діючих, так і нових типах ядерних реакторів.

Вперше розроблено та досліджено новітній клас перспективних матеріалів – радіаційнотолерантних високоентропійних сплавів (ВЕСи), що зміцнені тугоплавкими нанооксидами. Досвід створення високоентропійних сплавів допоміг фахівцям ННЦ «ХФТІ» створити нові легкі багатокомпонентні концентровані сплави на основі титану, що мають високу пластичність за кімнатної та підвищених температур. Характеристики міцності сплавів при 650 °С значно перевершують характеристики відомих жароміцних титанових сплавів, а також реакторних сталей.

Науковці ННЦ «ХФТІ» велику увагу приділяють розв'язанню проблеми безпечного поводження з відпрацьованим ядерним паливом і радіоактивними відходами (РАВ). Нині в Україні накопичено понад 50 тис.м<sup>3</sup> рідких РАВ, але єдиного підходу щодо технології їх ствердіння не визначено. Створено перспективну технологію отримання геополімерів лужною активацією алюмосилікатної сировини. Попередні результати досліджень свідчать про перспективність використання цієї технології для ствердіння рідких РАВ. Ця робота підтримується Об'єднаною європейською програмою Євратома з розроблення технологій поводження з РАВ.

Однак необхідно зауважити, що в галузі матеріалознавчого забезпечення ядерної енергетики є певні проблемні питання. Так, виробництво цирконію в Україні зупинено. Вкрай важливими завданнями залишаються створення національної системи науково-технічної й проектно-конструкторської підтримки ядерно-енергетичного комплексу та призначення провідних (головних) наукових (експертно-аналітичних) організацій з окремих проблем ядерної енергетики та промисловості. Потребує подальшого розвитку та розширення співпраця з ДП «НАЕК «ЕНЕРГОАТОМ».

Гострою є проблема забезпечення фаховими кадрами. Останніми роками кількість бажаючих навчатися за матеріалознавчими спеціальностями значно зменшилась. Необхідно вдосконалити матеріально-технічну базу системи підготовки та перепідготовки висококваліфікованих фахівців і науковців, що сприятиме розв'язанню проблем експлуатації та перспективного розвитку ядерно-енергетичного комплексу України.

Через обстріли Харкова та його передмість російськими військовими значно пошкоджені будівлі Інституту фізики твердого тіла, матеріалознавства та технологій ННЦ «ХФТІ». Орієнтовна загальна вартість відновлювальних робіт становить понад 22 млн.грн. Зазнав руйнування матеріалознавчий прискорювач іонів «ЕСПЗІ», що перешкоджає створенню нових матеріалів для ядерної енергетики та дослідження їх радіаційної стійкості.

Президія НАН України постановляє:

1. Доповідь доктора фізико-математичних наук Г.Д.Толстолицької «Розроблення та удосконалення радіаційностійких конструкційних матеріалів для ядерної енергетики України» взяти до відома.

2. Вважати роботи з матеріалознавчого супроводу безпечного функціонування та розвитку ядерно-енергетичного комплексу України одним з пріоритетних напрямів фундаментальних та прикладних досліджень наукових установ НАН України відповідного профілю.

3. Відділенню ядерної фізики та енергетики НАН України (академік НАН України М.Ф.Шульга):

3.1. Спільно з ДП «НАЕК «ЕНЕРГОАТОМ» розробити пропозиції щодо відновлення вітчизняного виробництва цирконію ядерної чистоти та організації виробництва з нього сплавів з подальшим виготовленням з них захисних труб-оболонок тепловидільних елементів, каналних і спрямовувальних труб, касет, дистанційних ґрат та інших деталей активної зони атомних реакторів.

3.2. З метою прискорення впровадження нових матеріалів в ядерну енергетику підготувати пропозиції щодо потреб та процедур їх дослідно-промислових випробувань і атестації.

3.3. Відновити діяльність Інституту фізики твердого тіла, матеріалознавства та технологій ННЦ «ХФТІ» як постачальника послуг для ДП «НАЕК «ЕНЕРГОАТОМ» з виконання діагностування напружено-деформованого стану металу зон термічного впливу і основного металу тепломеханічного обладнання та трубопроводів АЕС за допомогою неруйнівних та руйнівних методів і контролю механічних властивостей.

3.4. Підготувати пропозиції щодо відновлення та модернізації матеріалознавчого прискорювача іонів «ЕСПЗІ» та створення на його базі комплексу дослідження радіаційної стійкості конструкційних матеріалів для ядерної та термоядерної енергетики з урахуванням можливості отримання прискорювачів важких іонів як гуманітарної допомоги із споріднених інститутів Західної Європи.

3.5. Спільно з Харківським національним університетом імені В.Н.Каразіна та іншими закладами вищої освіти підготувати пропозиції до МОН України щодо заохочення студентів, які навчаються за матеріалознавчими спеціальностями, зокрема за спеціалізаціями та освітніми програмами, спрямованими на радіаційне або реакторне матеріалознавство.

4. Контроль за виконанням цієї постанови покласти на Секцію фізико-технічних і математичних наук НАН України та Науково-організаційний відділ Президії НАН України.

Президент  
Національної академії наук України  
академік НАН України

**Анатолій ЗАГОРОДНІЙ**

В.о.головного вченого секретаря  
Національної академії наук України  
академік НАН України



**Вячеслав БОГДАНОВ**