



ПРЕЗИДІЯ НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ

ПОСТАНОВА

07.09.2022

м. Київ

№ 262

Нові методи оцінювання міцності
та прогнозування ресурсу
критичних елементів обладнання АЕС

Заслухавши та обговоривши доповідь в.о.директора Інституту проблем міцності ім.Г.С.Писаренка НАН України доктора технічних наук О.Ю.Чиркова «Нові методи оцінювання міцності та прогнозування ресурсу критичних елементів обладнання АЕС», Президія НАН України відзначає важливість досліджень щодо уточнених моделей та методів розв'язання актуальних прикладних завдань механіки, пов'язаних з обґрунтуванням міцності та прогнозуванням ресурсу елементів обладнання реакторних установок АЕС з водо-водяним енергетичним реактором (ВВЕР).

Актуальність досліджень з оцінювання міцності та прогнозування ресурсу критичних елементів обладнання АЕС зумовлена передусім значною (понад 50%) часткою атомної енергетики у виробництві електроенергії в Україні та перевищенням проєктного ресурсу більшості енергоблоків.

Науково-прикладні розробки Інституту проблем міцності ім.Г.С.Писаренка НАН України враховують сучасні тенденції світової практики з розрахункового обґрунтування міцності елементів обладнання АЕС, а також містять нові концептуальні підходи до розв'язання нелінійних крайових задач механіки деформованих конструкцій. Результати фундаментальних та прикладних досліджень є методологічною основою уточненого розрахункового аналізу для розв'язання актуальних завдань сучасної атомної енергетики – забезпечення умов безпечної експлуатації енергоблоків АЕС та обґрунтування подовження строків їхньої експлуатації.

В Інституті проблем міцності ім.Г.С.Писаренка НАН України створено узагальнену методологію уточненого аналізу напружено-деформованого стану (НДС) та опору руйнуванню для розрахункового обґрунтування міцності й прогнозування ресурсу елементів обладнання першого контуру АЕС з ВВЕР, зокрема корпусів реакторів, вузлів приварки колекторів теплоносія до корпусу парогенераторів та елементів внутрішньокорпусних пристроїв реакторів ВВЕР.

Уточнений розрахунковий аналіз НДС конструкцій АЕС ґрунтується на розв'язанні узагальнених крайових задач термомеханіки, що описують кінетику зв'язаних процесів нелінійного деформування, радіаційного розпухання, радіаційної повзучості, контактної взаємодії та докритичного пошкодження матеріалу.

На основі розроблених енергетичних підходів, що узагальнюють постулат зміцнення Друкера для опроміненого пористого матеріалу, визначено умови, що забезпечують коректність розв'язків крайових задач радіаційної повзучості. Доведено збіг узагальнених та модифікованих процесів пружних розв'язків і змінних параметрів пружності у задачах радіаційної повзучості з урахуванням деформаційної історії навантаження.

Методологія уточненого розрахунку НДС ґрунтується на застосуванні удосконалених змішаних схем методу скінченних елементів (МСЕ) підвищеної точності до розв'язання нелінійних крайових задач термомеханіки і радіаційної повзучості. Розроблені змішані схеми забезпечують безперервність апроксимації не лише для переміщень, а й для напружень і деформацій, тоді як класичні схеми МСЕ призводять до їхньої розривної апроксимації. Розв'язок задачі на основі змішаного методу може бути побудований з урахуванням точного виконання статичних граничних умов на поверхні тіла.

Наведені результати досліджень засвідчили переваги уточнених моделей та методів розрахунку для аналізу міцності критичних елементів обладнання першого контуру АЕС з ВВЕР. За результатами розрахунків елементів реакторної установки ВВЕР-1000 сформульовано висновки: найбільш відповідальний елемент реакторної установки – корпус реактора, включаючи циліндричну частину та зону патрубків; найбільш проблемний елемент конструкції парогенератора – вузол приварки колектора теплоносія до патрубка корпусу парогенератора; найбільш опромінюваний елемент внутрішньокорпусних пристроїв реактора – вигородка активної зони реактора.

Застосування уточненої методики дало змогу виявити додаткові резерви міцності корпусу реактора ВВЕР-1000 для обґрунтування подовження строку експлуатації у понадпроектний період, встановити суттєвий вплив поверхневих дефектів корозійного походження на оцінку

опору руйнуванню парогенератора ПГМ-1000 та одержати прогнозну оцінку незворотної формозміни вигородки активної зони реактора ВВЕР-1000 залежно від накопиченої дози опромінення для обґрунтування нормального функціонування реактора в період проєктної та довгострокової експлуатації енергоблока АЕС.

Створений апарат розрахункових досліджень отримав практичне впровадження при науковому обґрунтуванні понадпроєктного строку експлуатації енергоблоків АЕС України, зокрема: для виконання державної експертизи робіт з обґрунтування міцності та опору руйнуванню корпусів реакторів ВВЕР-1000 на енергоблоках Запорізької, Рівненської та Південноукраїнської АЕС; для обґрунтування міцності основного металу та зварних швів парогенераторів ПГВ-1000М енергоблока № 3 Рівненської АЕС; для розрахунків на міцність корпусу (бака) та його складових частин дослідницького ядерного реактора ВР-М Інституту ядерних досліджень НАН України. Розроблено галузевий нормативний документ «Методика оцінки міцності і ресурсу корпусів реакторів ВВЕР у процесі експлуатації», який введено в дію ДП «НАЕК «Енергоатом» та використано для обґрунтування подовження строків безпечної експлуатації низки енергоблоків АЕС України.

Відзначаючи наукову та практичну важливість досліджень Інституту проблем міцності ім.Г.С.Писаренка НАН України, Президія НАН України зазначає необхідність більш широкого впровадження їхніх результатів для обґрунтування подовження строків експлуатації енергоблоків АЕС України.

Президія НАН України постановляє:

1. Доповідь в.о.директора Інституту проблем міцності ім.Г.С.Писаренка НАН України доктора технічних наук О.Ю.Чиркова «Нові методи оцінювання міцності та прогнозування ресурсу критичних елементів обладнання АЕС» взяти до відома, зауваживши актуальність, наукову та практичну цінність цих досліджень.

2. Вважати розроблення сучасних моделей та методів розрахунку міцності та ресурсу елементів обладнання АЕС одним із пріоритетних напрямів наукових досліджень Інституту проблем міцності ім.Г.С.Писаренка НАН України.

3. Інституту проблем міцності ім.Г.С.Писаренка НАН України (доктор технічних наук О.Ю.Чирков):

3.1. Зосередити зусилля інституту на подальшому розвитку сучасних моделей та методів розрахункового обґрунтування міцності та прогнозування ресурсу корпусів реакторів та критичних елементів обладнання АЕС.

3.2. Підготувати в місячний строк для ДП «НАЕК «Енергоатом» пропозиції щодо більш широкого використання розроблених в інституті методичних положень уточненого розрахунку напружено-деформованого стану для удосконалення нормативних документів і практики проведення розрахунків на міцність та обґрунтування подовження строків експлуатації обладнання і трубопроводів енергоблоків АЕС України.

3.3. Протягом 2023 року підготувати до друку узагальнену монографію, присвячену розвитку сучасних моделей та методів розрахункового аналізу в задачах міцності елементів обладнання реакторних установок АЕС з ВВЕР.

4. Відділенням механіки, фізико-технічних проблем матеріалознавства, фізики та астрономії, фізико-технічних проблем енергетики, ядерної фізики та енергетики НАН України посилити співпрацю з організаціями атомної галузі України в питаннях дослідження деградації матеріалів, міцності та ресурсу елементів обладнання АЕС.

5. Контроль за виконанням цієї постанови покласти на Відділення механіки 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