

УДК 539.3

СУЧАСНІ ПІДХОДИ МЕХАНІКИ НЕПРУЖНОГО ДЕФОРМУВАННЯ ДЛЯ РОЗРАХУНКОВОГО ОБГРУНТУВАННЯ МІЦНОСТІ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ РЕСУРСУ КРИТИЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ОБЛАДНАННЯ АЕС

Олександр Чирков, Валерій Харченко

Інститут проблем міцності ім. Г.С. Писаренка НАН України

chirkale82@gmail.com, ipp.kharchenko@gmail.com

В Інституті проблем міцності імені Г.С.Писаренка НАН України (ІПМіц НАН України) одержано теоретичні та прикладні результати щодо розвитку і застосування уточнених моделей і методів розв'язання актуальних задач механіки, пов'язаних з обґрунтуванням міцності та прогнозуванням ресурсу критичних елементів обладнання першого контуру реакторної установки з водо-водяним енергетичним реактором ВВЕР-1000 [1].

Науково-прикладні розробки ІПМіц 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.

Запропоновано та теоретично обґрунтовано уточнені математичні моделі, що дають змогу описувати неізотермічні процеси непружного деформування з урахуванням історії навантаження, радіаційних ефектів розпухання і повзучості опроміненого металу й накопичених пошкоджень в'язкого руйнування.

На основі розвинених енергетичних підходів, що ґрунтуються на загальних принципах нелінійної механіки суцільних середовищ та узагальнюють постулат Друкера для опроміненого пористого матеріалу, вперше встановлено умови коректності крайових задач радіаційної повзучості, в яких враховується зростання об'ємної концентрації мікропор в'язкого руйнування у металі за удосконаленими моделями Райса-Трейсі-Хуанга та за розв'язком Качанова для сферичної порожнини [2].

Розвинено загальну теорію змішаних проекційно-сіткових схем методу скінченних елементів підвищеної точності, доведено стійкість та збіжність змішаної апроксимації, обґрунтовано збіжність модифікованих ітераційних процесів пружних розв'язків і змінних параметрів пружності для розв'язання крайових задач термомеханіки, що описують кінетику зв'язаних процесів нелінійного деформування, радіаційного розпухання, радіаційного повзучості

та радіаційного пошкодження за моделями в'язкого руйнування.

На основі розроблених уточнених моделей і методів розрахунку одержано та проаналізовано результати моделювання кінетики напружено-деформованого стану корпусу ядерного реактора ВВЕР-1000 за режимів термошоку, вузла приварки колектора теплоносія до корпусу парогенератора ПГВ-1000М, вигородки та внутрішньокорпусної шахти реактора ВВЕР-1000 за експлуатаційних умов навантаження. Наведені результати демонструють можливість та переваги розроблених методів розрахунку для обґрунтування міцності та прогнозування залишкового ресурсу критичних елементів обладнання першого контуру реакторної установки АЕС з ВВЕР-1000.

Результати фундаментальних і прикладних досліджень ІПМіц НАН України покладено в основу методології уточненого розрахунку напружено-деформованого стану та опору руйнуванню елементів обладнання першого контуру реакторної установки ВВЕР-1000. Розроблені методи впроваджено у спеціалізований програмний комплекс, створений в ІПМіц НАН України та дозволений до застосування в атомній галузі України. Методичні рекомендації та методи розрахунку обладнання АЕС втілено в розроблений стандарт організації України – стандарт ІПМіц НАН України. Для оцінки міцності та ресурсу корпусів реакторів ВВЕР розроблено галузевий нормативний документ, використаний для обґрунтування подовження строків служби 7-ми енергоблоків АЕС України. Отримані результати сприяють вирішенню актуальних задач сучасної атомної енергетики щодо подовження строків безпечної експлуатації енергоблоків АЕС України.

1. Харченко В.В., Чирков А.Ю., Кобельский С.В., Кравченко В.И. Методы расчетного анализа в задачах прочности элементов оборудования реакторных установок ВВЭР. – Киев: Ин-т проблем прочности имени Г.С. Писаренко НАН Украины, 2018. – 293 с.
2. Чирков О.Ю. Радіаційна повзучість у задачах механіки непружного деформування матеріалів та елементів конструкцій. – Київ: Інститут проблем міцності імені Г.С. Писаренка НАН України, 2020. – 160 с.

STATE-OF-THE-ART APPROACHES OF INELASTIC DEFORMATION MECHANICS FOR COMPUTATIONAL STRENGTH SUBSTANTIATION AND SERVICE LIFE PREDICTION OF CRITICAL ELEMENTS OF NUCLEAR POWER PLANT EQUIPMENT

The paper presents the results on development and application of refined models and methods for solving topical problems of mechanics related to substantiation of strength and service life prediction of critical elements of WWER-1000 reactor equipment. The scientific and applied developments include new conceptual approaches to solving nonlinear boundary problems of mechanics of deformed structures, including refined models of radiation damage to metal and computational methods of analysis based on an enhanced-accuracy mixed scheme of the finite element method. The obtained results contribute to solving the problems of modern nuclear power engineering concerning the prolongation of safe operation of Ukrainian nuclear power plants.