

*Л.В. Харитонова, к. ф.-м. н., В.В. Цимбалюк
(Національний транспортний університет, Україна)
О.Г. Куценко, к. ф.-м. н., О.М. Харитонов, к. ф.-м. н.
(Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Україна)*

Визначення залишкового ресурсу обладнання та трубопроводів АЕС за допомогою системи моніторингу і діагностики

Описано алгоритми розрахунку залишкового ресурсу обладнання та трубопроводів АЕС за критерієм втоми на основі даних, що поступають від систем моніторингу та діагностики. Розглянуті питання побудови скінченно-елементних моделей обладнання та застосування методу суперпозиції розв'язків при розробці алгоритмів розрахунку параметрів напружено-деформованого стану.

Безпека експлуатації обладнання АЕС є однією з найбільш актуальних задач сучасної атомної енергетики. Одним з ефективних заходів для підвищення безпеки експлуатації є впровадження автоматизованих систем моніторингу параметрів обладнання і наближеної діагностики стану систем, в тому числі - визначення залишкового ресурсу. Залишковий ресурс обладнання визначається за кількома критеріями, серед яких, найбільш важливим, зокрема для трубопроводів, є циклічна втома. Залишковий ресурс обладнання за критерієм втоми оцінюється відповідно до формули:

$$a_i = \frac{N_i}{[N_0]_i}, \quad (1)$$

де N_i - кількість зареєстрованих циклів i -ого типу, $[N_0]_i$ - допустима кількість циклів i -ого типу, яка визначається за кривими втоми [1].

Для визначення циклів навантаження складається послідовність зареєстрованих експлуатаційних режимів обладнання, для кожного з яких розраховується послідовність зміни зведених напружень в часі. Побудова залежностей зведених напружень від часу основана на алгоритмі співвіднесення визначених в кожен момент часу головних осей з осями певної, наперед визначеної системи координат (рис. 1), таким чином, що головні напруження перенумеровуються, виходячи з критерію найменших кутів, утворених головними осями з осями зафіксованої наперед визначеної системи координат.

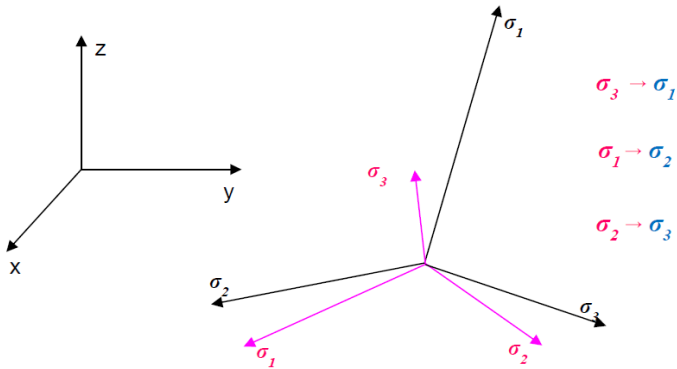


Рис.1. Перенумерування головних напружень

Розрахунок напружень і інших характеристик напружено-деформованого стану (НДС) відбувається за допомогою методу функцій впливу, реалізація якого можлива завдяки застосуванню лінійних моделей і, як наслідок, принципу суперпозиції розв'язків. Принцип суперпозиції в даному випадку формується таким чином: значення певної характеристики НДС, що виник внаслідок сукупності навантажень, дорівнює сумі значень відповідної характеристики для кожного з навантажень, взятого окремо. При цьому припускається лінійний відгук системи на навантаження. У відповідних моделях всі залежності лінеаризовані, зокрема, всі температурні залежності властивостей матеріалів усереднені за температурою. Для розробки функцій впливу розроблено повну скінченно-елементну модель важливого для безпеки обладнання АЕС (рис. 2).

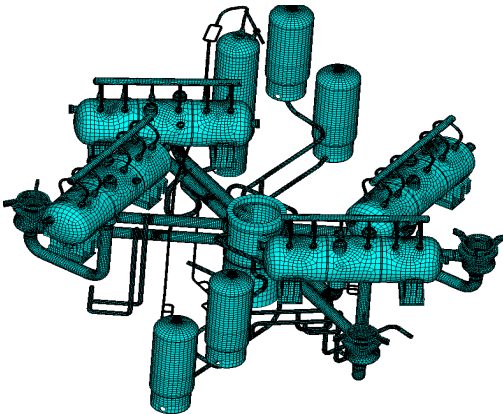


Рис.2. Повна скінченно-елементна модель важливого для безпеки обладнання АЕС

Таким чином, обладнання, що моделюється, описується зв'язаною системою елементів. Розраховані за допомогою вказаної моделі функції впливу являють собою задані в табличному вигляді відгуки (значення характеристик НДС) в контрольних точках описаної системи на одиничні навантаження, що виникли в обраних елементах. Так що кожна функція впливу відповідає за навантаження в своєму елементі. При цьому розроблені два типи функцій впливу – механічні (навантаженням є внутрішній тиск) і температурні (навантаженням є зміна температури). Після розрахунку залежності зміни зведених напружень від часу, цикли навантаження виділяються з цієї залежності за допомогою методу дощу.

Зараз на багатьох енергоблоках АЕС України встановлені сучасні ефективні датчики контролю температури, тиску та переміщень. Інформація від цих датчиків служить основою для роботи систем АСУС. Виходячи з даних датчиків температури та тиску, використовуючи функціональні залежності теплогідрравліки, в кожен момент часу визначаються значення температури та тиску в системах АЕС, що описані повною моделлю і включені до обсягу АСУС. Алгоритми АСУС основані на накопиченні даних за певний період часу і їх наступної обробки з проведенням ідентифікації теплогідрравлічного режиму і доповненням отриманих від датчиків даних результатами заздалегідь виконаних розрахунків для цього теплогідрравлічного режиму. Можлива також обробка даних з частотою їх отримання даних від датчиків. Сформовані розподіли температури та тиску в гідрооб'ємах використовуються як граничні умови для розрахунків міцності за допомогою функцій впливу.

Реалізація зазначених алгоритмів у вигляді єдиного програмного комплексу дозволяє ефективно розв'язувати задачі по проведенню експрес-оцінювання залишкового ресурсу в процесі експлуатації і корекції заходів з управління старінням.

Висновки

Розглянуті підходи до розрахунку параметрів напружено-деформованого стану важливого для безпеки обладнання і трубопроводів АЕС в режимі онлайн, виходячи з даних, що поступають від датчиків температури та тиску, які входять до складу автоматизованих систем моніторингу і діагностики. Розглянуті алгоритми моделювання і розрахунку параметрів напружено-деформованого стану, що основані на методі функцій впливу.

Список літератури

1. ASME Boiler and Pressure Vessel Code. Section XI. Rules for Inservice Inspection of Nuclear Power Plant Components. 2010.
2. Unified Procedure for Lifetime Assessment of Components and Piping in WWER NPPs VERLIFE – Version 2021, v.2.