

РОЗРОБКА ДОПОМІЖНИХ АЛГОРИТМІВ ДЛЯ АНАЛІЗУ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ТА ЗНОШУВАННЯ ТВЕЛІВ ЯДЕРНИХ РЕАКТОРІВ

Бреславський Д.В., Паламарчук П.І.

Національний технічний університет

«Харківський політехнічний інститут», м. Харків

Фретингове зношування твелів та трубних дошок ядерного реактору є результатом складного явища вібрації, спричиненої потоком теплоносія першого контуру в ядерній зоні [1]. Зношування твелів наразі є однією з основних причин несправності палива. Воно відповідає за понад 70% витоків палива в тепловиділяючих збірках і обходиться енергокомпаніям у значні суми. Саме тому є актуальними задачі аналізу напружено-деформованого стану та покращення зносостійкості й терміну служби конструкційних елементів реактору відповідно різних умов експлуатації.

Задачу сформульовано у загальній тривимірній постановці. З огляду на симетрію, було розглянуто елемент твелу між трубними дошками. Аналізувалась контактна взаємодія між оболонкою твелу та внутрішньою поверхнею отвору трубної дошки. Вплив потоку теплоносія представлено у вигляді поверхневого тиску. До розв'язання залучено метод скінченних елементів.

Для пошуку балансу між точністю розв'язання та розміром моделі виконано дослідження щодо отримання оптимальної за розмірами сітки. Для більш детальної постановки задачі у програмному комплексі розроблено та реалізовано декілька допоміжних алгоритмів. Для врахування температурних деформацій, що виникають внаслідок високих температур у тепловиділяючій збірці реактору, розв'язано задачу термопружності для оболонки твелу з використанням аналітичних обчислень. Далі, за допомогою допоміжної програми мовою програмування C++ було згенеровано команди мови APDL для завдання теплових переміщень кожному вузлу скінченно-елементної сітки твелу.

Для завдання поверхневого тиску у довільному напрямку розроблено та програмно реалізовано алгоритм пошуку необхідних вузлів сітки. Проаналізовано вплив напрямку тиску на розподіл переміщень, деформацій та напружень. Надалі даний алгоритм передбачається використати для розв'язання більш комплексної задачі, в якій напрямок дії тиску змінюється.

За результатами розрахунків визначено час функціонування твелу без критичного зношування. Окремо було досліджено залежність часу функціонування від величини тиску, що обумовлюється різними режимами роботи ядерного реактору. Результати відповідають практичним даним експлуатації.

Література

1. Zeman V. Mathematical modelling of nonlinear vibration and fretting wear of the nuclear fuel rods. / V. Zeman, S. Dyk, Z. Hlavac // Archive of Applied Mechanics. - 2016. - v. 86 – P. 657-668.