

## ТЕМПЕРАТУРНЕ ПОЛЕ І ПЕРЕМІЩЕННЯ В КУЛЬОВОМУ ТЕПЛОВИДІЛЯЮЧОМУ ЕЛЕМЕНТІ

ІВАННА ЛУКОВЕЦЬ

НУ «Львівська політехніка», ivanna.lukovets.ac.2018@lpnu.ua

Основним і найбільш напруженим елементом ядерного реактора є тепловиділяючий елемент (ТВЕЛ), основу якого складає активний об'єм, заповнений ядерним паливом. На даний час у ядерному реакторобудуванні використовуються ТВЕЛі різних конструкцій: стержневі, кільцеві, кульові, складного профілю, плоскі та інші. Найбільш поширеною конструкцією в енергетичних, дослідницьких і транспортних реакторах є стержневі. За останні десятиріччя розробляються реактори з кульовими ТВЕЛами. Сферична форма є оптимальною для забезпечення однакової тепловіддачі по всій поверхні.

У активній зоні ядерного реактора питоме тепловиділення досягає  $10^8$ – $10^9$  Вт/м<sup>3</sup>, в той час як у інших джерелах тепла це значення не перевищує  $10^7$  Вт/м<sup>3</sup>. Велике тепловиділення призводить до високих потоків у поперечному перерізі тепловиділяючих поверхонь ТВЕЛів, які складають  $(0,5 – 1,5) \cdot 10^6$  Вт/м<sup>2</sup>, досягаючи іноді значень  $(2 – 5) \cdot 10^6$  Вт/м<sup>2</sup> [1]. Як наслідок виникають значні температурні перепади по поперечному перетині ТВЕЛів, які можуть складати від декількох десятків до багатьох сотень градусів, а в деяких випадках 1500–2000<sup>o</sup>С.

Температурні перепади залежать від величини тепловиділення, розмірів складових ТВЕЛів та теплопровідності матеріалів з яких вони виготовлені. Значні температурні перепади є причиною виникнення температурних деформацій і температурних напружень.

Теплофізична проблематика, в основі якої лежить безпечна та надійна експлуатація ТВЕЛів більшою мірою визначається його температурним режимом. Температура і її градієнти мають визначальний вплив на теплові потоки, що відводяться від ТВЕЛа. Фізичні властивості матеріалів, термічні напруження і деформації в них, радіаційне розпухання тощо. У свою чергу фізико-хімічні трансформації в результаті нагрівання ТВЕЛа здатні обмежити робочий рівень температури, а також теплові потоки, що відводяться або розміри ТВЕЛа [2].

**Конференція молодих учених «Підстригачівські читання – 2022»,  
25–27 травня 2022 р., Львів**

В роботі розглядається кульовий ТВЕЛ радіус якого  $R$ . Використовуючи систему координат, початок якої співпадає з центром кулі, записано диференціальне рівняння теплопровідності:

$$\frac{d^2 t(r)}{dr^2} + \frac{2 q_v}{r dr} + \frac{q_v}{\lambda} = 0, \quad (1)$$

де,  $t(r)$  - температура,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $q_v$  - питоме тепловиділення (1) з врахуванням граничних умов записано у вигляді:

$$t(r) - t_m = \frac{q_v R^2}{6\lambda} \left( 1 - \frac{r^2}{R^2} \right) \quad (2)$$

Аналіз рівняння (2) показує, що температура в кулі залежить від величини тепловиділення  $q_v$ , коефіцієнта теплопровідності  $\lambda$  і радіуса  $R$ . Максимальне значення температури досягається у центрі ТВЕЛа.

Знаючи розподіл температурного поля (2) можна знайти переміщення точок ТВЕЛа за диференціальним рівнянням:

$$\frac{d^2 u(r)}{dr^2} + \frac{\lambda du(r)}{r dr} - \frac{2u}{r^2} = \frac{1 + \nu}{1 - \nu} \alpha \frac{dt(r)}{dr} \quad (3)$$

де,  $u(r)$  - переміщення точок ТВЕЛа при зміні температури, м;  $\nu$  - коефіцієнт Пуассона;  $\alpha$  - температурний коефіцієнт лінійного розширення.

Розв'язок диференціального рівняння (3) записано у вигляді:

$$u = \frac{1 + \nu}{1 - \nu} \alpha \frac{1}{r^2} \int_0^r t(r) r^2 dr + C_1 r \quad (4)$$

1. Ключников А.А., Шараевский И.Г., Фиалко Н.М. и др. Теплофизика аварий ядерных реакторов: монография. – Чернобыль: Ин-т проблем безопасности АЭС НАН Украины, 2012. – 528 с.
2. Ключников А.А., Шараевский И.Г., Фиалко Н.М. и др. Теплофизика поврежденных реакторных установок: монография. – Чернобыль: Ин-т проблем безопасности АЭС НАН Украины, 2013. – 528 с.

**TEMPERATURE FIELD AND MOVEMENT IN THE HEAT  
EMISSIONING ELEMENT**