

2. Аль-Самави А.Х. Организация водно-химического режима парогенераторов с реакторами типа ВВЭР / А.Х. Аль-Самави, В.В. Евстигнеев, Г.Н. Лихачёва // Ползуновский Вестник “Энергетика”. – № 1. – 2002. – С. 32 – 35.

А. Руй

Науковий керівник – д. т. н., проф. М. М. Семерак

НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНІЙ СТАН ТЕПЛОВИДІЛЯЮЧИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА

Атомна енергетика в Україні стрімко розвивається, створюються нові проекти для будівництва нових блоків та атомних станцій. На сьогоднішній день в Україні на чотирьох атомних електростанціях експлуатується 15 атомних реакторів типу ВВЕР, які виробляють майже 60 % електричної енергії України. Принцип роботи ядерного реактора базується на властивості ядер деяких елементів при захопленні нейтрона миттєво переходити в збуджений стан, ділитися на два одноіменно заряджених осколка та 2-3 вільних нейтронів. Така властивість супроводжує собою виділення енергії у великій кількості. Основним і найбільш напруженим елементом ядерного реактора є тепловиділяючий елемент (ТВЕЛ), основу якого складає активний об’єм заповнений ядерним паливом. В реакторах ВВЕР використовують ТВЕЛі циліндричної форми, довжина яких становить від 3.55м., а діаметр – 9,1 мм. Робота ТВЕЛів характеризується дуже високими тепловими навантаженнями і значними температурними теплоперепадами по поперечному перерізі палива, які можуть складати декількох сотень градусів.

Для знаходження закону розподілу температури вздовж радіуса r в циліндричному ТВЕЛі, запишемо рівняння теплопровідності з внутрішнім джерелом тепла розподіленим по всьому об’єму. [1, 2]

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

де t – температура, яка змінюється по радіусу r , °С; q_v – питома об’ємна тепловиділення, Вт/м³; λ – коефіцієнт теплопровідності, Вт/м·К.

Рівняння (1) є диференціальне рівняння другого порядку. Для знаходження розв’язку такого рівняння, його необхідно двічі проінтегрувати по r . Після інтегрування одержуємо.

$$t(r) = -\frac{q_v}{\lambda} \cdot \frac{r^2}{4} + C_1 \cdot \ln|r| + C_2, \quad (2)$$

де C_1 і C_2 постійні інтегрування.

Постійні інтегрування C_1 і C_2 знаходяться з врахуванням граничних умов, використавши їх значення і підставивши в рівняння (1), отримаємо:

$$t(r) = \frac{q_v}{4\lambda} \cdot (R^2 - r^2) + t_n. \quad (3)$$

Вираз (3) є законом розподілу температури в циліндричному ТВЕЛі. Як бачимо з виразу (3) температура залежить від величини тепловиділення q_v , коефіцієнта теплопровідності λ , радіуса ТВЕЛа R і температури поверхні t_n .

На основі цього закону було проведено дослідження зміни температури по радіусу ТВЕЛа r . Результати розрахунків показані графічно на рис. 1. При розрахунках враховано, що $R=3,7 \cdot 10^{-3}$ м, $q_v=110 \cdot 10^6$ Вт/м³, $\lambda=15$ Вт/м·К, $t_n=800$ °С.

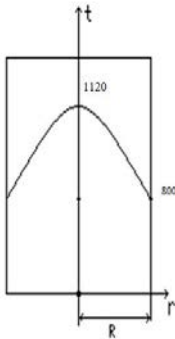


Рис. 1 Зміна температури по радіусу ТВЕЛа

Аналіз розрахунків показує, що температура вздовж радіуса r змінюється по параболическому закону і найбільше своє значення має в центрі ТВЕЛа. Використовуючи закон зміни температурного поля (3) можна досліджувати температурні деформації та температурні напруження ТВЕЛа. [3]

Використовуючи закон зміни температури вздовж радіуса(3), одержані аналітичні вирази для дослідження радіальних, тангенціальних та осьових температурних напружень.

Температурне напруження в радіальному напрямку

$$\sigma_r = \frac{\alpha_t E}{1-\nu} \left[\left(A \cdot \frac{R^2}{4} + \frac{B}{2} \right) - \left(A \cdot \frac{r^2}{4} + \frac{B}{2} \right) \right]. \quad (4)$$

Температурне напруження в тангенціальному напрямку

$$\sigma_\theta = \frac{\alpha_t E}{1-\nu} \left[\left(A \cdot \frac{R^2}{4} + \frac{B}{2} \right) + \left(A \cdot \frac{r^2}{4} + \frac{B}{2} \right) - \left(A \cdot r^2 + B \right) \right]. \quad (5)$$

Температурне напруження в осьовому напрямку:

$$\sigma_z = \frac{\alpha_t E}{1-\nu} \left[\left(A \cdot \frac{R^2}{2} + B \right) - \left(A \cdot r^2 + B \right) \right], \quad (6)$$

де E – модуль пружності Юнга ($E=14 \cdot 10^{10}$ Па), α_t - коефіцієнт лінійного розширення ($\alpha_t=11.5 \cdot 10^{-6}$ К⁻¹), ν - коефіцієнт Пуассона ($\nu=0.2$), $A = -\frac{q_v}{\lambda}$, $B = t_n + \frac{q_v}{\lambda} \cdot \frac{R^2}{4}$. На основі одержаних формул (4-6) було проведено дослідження. Результати якого приведені на рис.2.

Аналіз графічних залежностей (рис. 2) показує, що найбільші розтягуючі тангенціальні та осьові напруження виникають на циліндричній поверхні ($r = R$). Радіальні напруження на поверхні $r = R$ рівні нулю.

За допомогою закону зміни температури в циліндричному ТВЕЛі (3) було отримано вираз, який описує відносне видовження вздовж його перерізу.

$$U = \frac{1+\nu}{1-\nu} \alpha_t \cdot \left[\frac{1-2\nu}{1+\nu} \left(A \cdot R^2 \frac{r}{4} + B \frac{r}{2} \right) + \left(A \frac{r^2}{4} + B \frac{r}{2} \right) \right] \quad (7)$$

За виразом (7) проведено розрахунки, та було виявлено що при заданих початкових умовах радіус ТВЕЛа видовжується на 0,0348 мм.

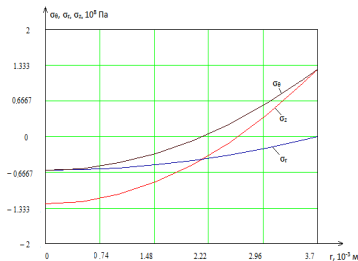


Рис. 2. Радіальні, тангенціальні та осеві температурні напруження в циліндричному ТВЕЛі.

Література

1. Дементьев Б.А. Ядерные энергетические реакторы. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 352 с.
2. Ликов А. В. Теория теплопроводности. М.: Высшая школа, 1967. – 600 с.
3. Мельников Н. П. Конструктивные формы и методы расчета ядерных реакторов. –М.: Энергоатомиздат, 1985. – 560 с.

Н. Басараб

Науковий керівник – к.т.н., доц. М. Б. Сабат

ВИКОРИСТАННЯ ТРЬОХЗОННОГО ТАРИФУ ТА АКУМУЛЯЦІЙНОЇ ЄМНОСТІ У ЯКОСТІ НАКОПИЧУВАЧА ЕНЕРГІЇ

На фоні зростання тарифів на електричну енергію в Україні та можливості використання трьохзонного обліку електричної енергії актуальним стає використання акумуляційних ємностей в якості теплогенераторів для приватних домогосподарств з електроопаленням, що дозволить зменшити дефіцит маневриної потужності для енергосистеми та зменшити використання коштів на електроопалення для домогосподарств.

Виклад основного матеріалу

Для вирішення вище поставлених проблем розглянемо можливість використання акумуляторних ємностей для окремих домогосподарств.