

ОЦЕНКА ПРИГОДНОСТИ СУЩЕСТВУЮЩЕГО ТЕПЛООБМЕННИКА СИСТЕМЫ АВАРИЙНО-ПЛАНОВОГО РАСХОЛАЖИВАНИЯ ВВЭР- 1000 ПРИ ПЕРЕХОДЕ НА МОЩНОСТЬ РЕАКТОРА 107 % ОТ НОМИНАЛЬНОЙ

Е.А. Морозова
Томский политехнический университет
ИШЭ, НОЦ И.Н. Бутакова, группа 5072

Повышение мощности и продление срока эксплуатации энергоблоков ВВЭР-1000 являются одними из ключевых направлений работ АО «Концерн Росэнергоатом». На данный момент переход на мощность 104 % от номинальной уже произведен на третьем и четвертом энергоблоках БалАЭС. Следующим повышением уровня мощности станет мощность, равная 107 % от номинальной [1, с.1]. Цель данной работы – выяснить, необходимо ли заменить текущий теплообменник системы аварийно-планового расхолаживания (далее т/о) при переходе на новую мощность. Для этого необходимо узнать остаточное тепловыделение от образовавшихся осколков деления.

Расчет остаточного тепловыделения будет проводиться по двум методикам. Дальнейшие расчеты будут вестись по методике, показавшей наибольшие значения. Формула Уэя-Вигнера (погрешность формулы 50 %):

$$Q_{\text{бг}} = 6,62 \cdot 10^{-2} N_T [T^{-0,2} - (T + T_0)^{-0,2}]. \quad (1)$$

Унтермайер и Уэллс получили эмпирическую формулу, учитывающую вклад в остаточную тепловую мощность от распада продуктов деления U^{235} и Pu^{239} :

$$Q = 10 \cdot \{(T + 10)^{-0,2} - (T + T_0 + 10)^{-0,2} - 0,87 \cdot [(T + 2 \cdot 10^7)^{-0,2} - (T + T_0 + 2 \cdot 10^7)^{-0,2}]\}. \quad (2)$$

Чтобы получить тепловыделение от продуктов деления только U^{235} нужно из выражения (2) вычесть тепловыделение от Pu^{239} и Np^{239} :

$$Q_{Pu} = 0,25 \{ \exp(-T / 2040) - \exp[-(T + T_0) / 2040] \}, \quad (3)$$

$$Q_{Np} = 0,13 \{ \exp(-T / 29000) - \exp[-(T + T_0) / 29000] \}, \quad (4)$$

где T – момент времени после останова, на который определяется остаточное тепловыделение, с; T_0 – время работы реактора, с.

Формулы (2)-(4) имеют следующую точность, оцененную Унтермайером и Уэллсом для различных T [2, с. 137]:

$$\begin{aligned} &\pm 50\% \text{ для } 1 \leq T \leq 10^2; \\ &\pm 30\% \text{ для } 10^2 \leq T \leq 10^4; \\ &\pm 10\% \text{ для } 10^4 \leq T \leq 10^6; \\ &\pm 50\% \text{ для } 10^6 \leq T \leq 10^8. \end{aligned}$$

Максимальные значения тепловыделения по данным формулам будут при времени работы, равным компаниии реактора (18 месяцев).

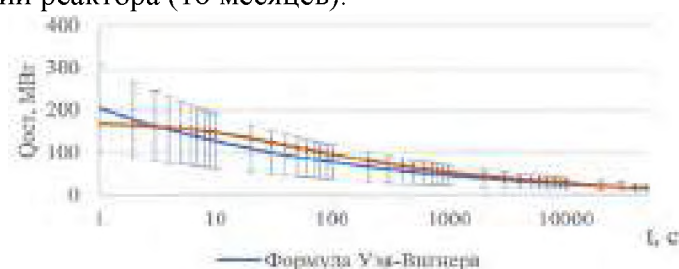


Рис. 1. Распределение остаточного тепловыделения по времени стоянки реактора ВВЭР-1000 на мощности 107% от номинальной

На рисунке 1 представлены графики распределения остаточного тепловыделения по формулам Унтермайера-Уэллса и Уэя-Вигнера.

Так же необходимо оценить время после останова реактора, при котором т/о включится в работу.

Переход из горячего (температура теплоносителя не превышает $T_{гор}=206\text{ }^{\circ}\text{C}$, давление равно номинальному, $p_{ном}=160\text{ кгс/см}^2$ [3, с.17]) состояния в холодное осуществляется плановым расхолаживанием, которое сначала ведется через парогенераторы, затем, при достижении давления, равного $p_{дон}=18\text{ кгс/см}^2$, и температуры, равной $T_{дон}=150\text{ }^{\circ}\text{C}$, производится через т/о. При расхолаживании скорость изменения давления первого контура не должна превышать $v_p=10\text{ кгс/см}^2$, а температуры – не более $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ [3, с.233].

Время, необходимое для того чтобы в контуре установилось давление 18 кгс/см^2 равно:

$$t = (p_{ном} - p_{дон}) / v_p = (160 - 18) / 10 = 14,2\text{ мин} = 852\text{ с}.$$

К найденному времени необходимо прибавить 35-40с. Это время включения системы аварийно-планового расхолаживания после достижения давления 18 кгс/см^2 [4, стр.7].

Время, необходимое для расхолаживания активной зоны до температуры $150\text{ }^{\circ}\text{C}$, с максимально допустимой скоростью расхолаживания $v_T=30\text{ }^{\circ}\text{C}$, равно:

$$t' = (T_{гор} - T_{дон}) / v_T = (260 - 150) / 30 = 3,6\text{ ч} = 13200\text{ с}.$$

Таким образом, время включения т/о в работу после останова составляет 13200 с. Тепловыделение в этот момент времени по формуле (1) с учетом погрешности составляет:

$$Q_{\beta\gamma} = 38,35\text{ МВт}.$$

Определим мощность текущего т/о. Расход тех. воды равен $G_{т.в.} = 3000\text{ м}^3 / \text{ч}$, плотность тех. воды равна $\rho_{т.в.} = 993,55\text{ кг} / \text{м}^3$, температура тех. воды на выходе из т/о не более $t_{т.в.}'' = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$, температура тех. воды на входе в т/о $t_{т.в.}' = 5...33\text{ }^{\circ}\text{C}$.

$$Q = G_{т.в.} \cdot c_p (t_{т.в.}'' - t_{т.в.}') = 3000 / 3600 \cdot 993,55 \cdot 4176,4 \cdot (40 - 33) = 24,2\text{ МВт}.$$

Можно сделать вывод, что текущий теплообменник системы аварийно-планового расхолаживания не сможет обеспечить достаточный отвод тепла от активной зоны.

Для того чтобы обеспечить безопасное функционирование блока, теплообменник нужно спроектировать на $Q = 38,35\text{ МВт}$.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Оптимизация 18-месячных топливных циклов ВВЭР-1000 повышенной мощности с учетом облучения выгородки и корпуса реактора / Егоров А. Л., Павловичев А. М., Сумароков М. А., Зарицкий С. М. – Москва: НИЦ «Курчатовский институт», 2019. – 9 с.
2. Эксплуатационные режимы водо-водяных энергетических ядерных реакторов / Овчинников Ф.Я., Голубев Л.И., Добрынин В.Д., Клочков В.И., Семенов В.В. [и др.] – Москва: Атомиздат, 1977. – 280 с.
3. Технологический регламент эксплуатации энергоблока № 4 Балаковской АЭС Р.4.ОУБ/03, Балаково, 2019. – 414 с.
4. Техническое описание системы аварийного и планового охлаждения зоны (активная часть) ТО.1,2,3,4.TQ12,22,32.ОТ/148, Балаково, 2019. – 114 с.

Научный руководитель: к.т.н. К.Б. Ларионов, доцент НОЦ И.Н. Бутакова ИШЭ ТПУ.