

УДК 621.181

А.А.Наседкин (асп., каф. РиПГС), С.М.Бор, д.т.н., проф.

### О НЕСТАЦИОНАРНЫХ ПРОЦЕССАХ ВО ВСТРОЕННЫХ ПАРОВЫХ КОМПЕНСАТОРАХ ДАВЛЕНИЯ МОНОБЛОЧНЫХ РЕАКТОРОВ

Рассмотрим систему с внутренним подводом тепла (от активной зоны (АЗ)) к встроенному паровому компенсатору давления.

Уравнения энергетического и материального баланса для компенсатора следующие:

$$\frac{d}{d\tau} [V_B \rho' U' + (V - V_B) \rho'' U''] = G_{II}^{BX} i'' - G_{II}^{BBIX} i''; \quad (1)$$

$$\frac{d}{d\tau} [V_B \rho' + (V - V_B) \rho''] = G_{II}^{BX} - G_{II}^{BBIX}. \quad (2)$$

Здесь  $V_B, V$  — объем воды в корпусе реактора и полный объем корпуса реактора,  $m^3$ ;  $U', i', U'', i''$  — внутренняя энергия и энтальпия воды и пара соответственно в состоянии насыщения,  $kJ/kg$ ;  $G_{II}^{BX}, G_{II}^{BBIX}$  — массовые расходы пара на входе в компенсатор и на выходе из него.

При записи уравнений (1), (2) предполагается, что в компенсаторе объема имеет место термодинамическое равновесие. Так как  $U = i - p/\rho$ , левую часть уравнения (1) можно записать в виде:

$$\frac{d}{d\tau} [V_B \rho' i' + (V - V_B) \rho'' i''] - \frac{d}{d\tau} [V p].$$

Преобразовав уравнения (1), (2) получим

$$\begin{aligned} & \frac{dV_B}{d\tau} \rho' i' + V_B \rho' \frac{di'}{d\tau} + V_B i' \frac{d\rho'}{d\tau} + V i'' \frac{d\rho''}{d\tau} + V \rho'' \frac{di''}{d\tau} - \rho'' i'' \frac{dV_B}{d\tau} - V_B \rho'' \frac{di''}{d\tau} - V_B i'' \frac{d\rho''}{d\tau} - V \frac{dp}{d\tau} = \\ & = i'' (G_{II}^{BX} - G_{II}^{BBIX}); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \frac{dp}{d\tau} \left( V_B \rho' \frac{di'}{dp} + V_B i' \frac{d\rho'}{dp} + V i'' \frac{d\rho''}{dp} + V \rho'' \frac{di''}{dp} - V_B \rho'' \frac{di''}{dp} - V_B i'' \frac{d\rho''}{dp} - V \right) = \\ & = \rho'' i'' \frac{dV_B}{d\tau} - \rho' i' \frac{dV_B}{d\tau} - \Delta G_{II} i'' \end{aligned}$$

Здесь  $\Delta G_{II} = (G_{II}^{BBIX} - G_{II}^{BX})$ . Тогда получим следующее выражение для производной

$$\frac{dp}{d\tau} = \frac{\frac{dV_B}{d\tau} (\rho'' i'' - \rho' i') - \Delta G_{II} i''}{V_B \rho' \frac{di'}{dp} + V_B i' \frac{d\rho'}{dp} + V i'' \frac{d\rho''}{dp} + V \rho'' \frac{di''}{dp} - V_B \rho'' \frac{di''}{dp} - V_B i'' \frac{d\rho''}{dp} - V}. \quad (3)$$

Из уравнения (2) получим

$$\frac{dp}{d\tau} \left( V_B \frac{d\rho'}{dp} + (V - V_B) \frac{d\rho''}{dp} \right) + (\rho' - \rho'') \frac{dV_B}{d\tau} = -\Delta G_{II},$$

отсюда

$$\frac{dV_B}{d\tau} = \frac{-\Delta G_{II}}{\rho' - \rho''} - \frac{dp}{d\tau} \frac{V_B \frac{d\rho'}{dp} + (V - V_B) \frac{d\rho''}{dp}}{\rho' - \rho''} \quad (4)$$

Подставим уравнение (4) в (3) и после преобразований получим:

$$\frac{dp}{d\tau} = \frac{1}{A} \{-\Delta G_{II}(i'' - i')\rho'\} \quad (5)$$

$$A = \frac{di'}{dp} V_B \rho' (\rho' - \rho'') + \frac{di''}{dp} (V - V_B) \rho'' (\rho' - \rho'') + \frac{d\rho'}{dp} V_B \rho'' (i'' - i') + \frac{d\rho''}{dp} (V - V_B) \rho' (i'' - i') - V(\rho' - \rho'') \quad (6)$$

Уравнения (5), (6) описывают изменение давления и объема воды (пара).



Рис. 1.

Решая систему дифференциальных уравнений (5), (6) одним из численных методов (Эйлера, Рунге-Кутта), можно получить зависимости изменения давления и объема воды (пара) от времени (в данном случае) для нестационарных процессов в встроенном паровом компенсаторе давления. На рис. 1 приведен пример изменения давления от времени для процесса изменения мощности с 10 до 100%. Стационарный процесс — линейная зависимость, нестационарный — нелинейная.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Шаманов Н.П., Пейч Н.П., Дядик А.Н. Судовые ядерные паропроизводящие установки: Учебник- Л.: Судостроение, 1990.- 368 с.
2. Бахвалов Н. С., Жидков Г. М., Кобельков. Численные методы; Учебное пособие.- М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987.- 600 с.