

Моров Б.И., аспирант

Научный руководитель Похорилер В.Л., проф., канд. техн. наук

ОЦЕНКА ПРОГИБА НЕВРАЩАЮЩЕГОСЯ РОТОРА ТУРБИНЫ К-500-240-2 ХТГЗ ПРИ ОСТЫВАНИИ С ОТКЛЮЧЕНИЕМ СИСТЕМЫ СМАЗКИ

При остывании турбины с неподвижным ротором в последнем возникают температурные разности «верх-низ» (Δt_p), которые вызывают его тепловой прогиб, приводящий к изменению радиальных зазоров в проточной части и уплотнениях. Величину изменения указанных зазоров необходимо знать для оценки надежности как самих режимов остывания, так и возможности последующего пуска турбины.

Разность температур по диаметру ротора Δt_p появляется вследствие:

1) теплообмена ротора с элементами статора, в которых имеют место температурные неравномерности, обусловленные разностью температур "верх-низ" корпуса цилиндра (Δt_k); 2) теплоотвода от шейки ротора к элементам подшипника. Величина Δt_p в зоне подшипников может быть с достаточной точностью оценена по непосредственно замеряемым температурам баббита подшипников. В то же время исследования показывают, что влияние этой составляющей Δt_p на изменение радиальных зазоров невелико; основную роль здесь играет первая из перечисленных составляющих. Однако измерить Δt_p в зоне проточной части практически невозможно, поэтому основную роль здесь играют расчетные методы. Анализ показывает, что для установившегося (регулярного) режима остывания цилиндра связь между величинами Δt_p и Δt_k можно представить следующим образом:

$$\Delta t_p = K \cdot \Delta t_k ; K = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5,$$

где K_1, K_2, K_3, K_4, K_5 - коэффициенты, учитывающие особенности процессов теплообмена между элементами статора и ротора при остывании.

В приведенной формуле K_1 учитывает снижение температурной разности вследствие лучистого теплообмена между наружным (НК) и внутренним корпусами (ВК) двухкорпусного цилиндра. Коэффициент K_2 учитывает термическое сопротивление при теплопередаче от НК к обоямам для цилиндров с обойменной конструкцией. Коэффициент K_3 в зависимости учитывает термическое сопротивление при теплопередаче от НК или обойме к диафрагме и от последней к НК (обойме). Коэффициент K_4 учитывает соотношение диаметров вала ротора D_p и диафрагмы $D_{дф}$.

Коэффициент K_5 учитывает снижение разности температур по диаметру ротора вследствие осевой расточки теплоты по валу ротора на участке между соседними дисками. По результатам математического моделирования процесса остывания он составляет 0,66-0,75.

При оценке прогиба невращающегося ротора турбины К-500-240-2 ХТГЗ анализировались результаты опытов на Рефтинской ГРЭС по останову турбины с отключением смазки при температурах металла ЦВД/ЦСД 250/238°C после

воздушного расхолаживания и температурах металла ЦВД/ЦСД 227/308°С после расхолаживания под нагрузкой.

Были получены следующие коэффициенты, учитывающие процесс теплообмена вышеназванной турбины, приведенные в таблице:

Обозначение	K1	K2	K3	K4	K5	K
ЦВД	0,548	1	0,361	0,531	0,7	0,074
ЦСД	0,861	0,141	0,191	0,308	0,7	0,005

Соответственно разности температур на роторах ЦВД и ЦСД равны:

$$\Delta t_p^{ЦВД} = K \cdot \Delta t_k^{ЦВД} = 0,074 \cdot 50 = 3,7 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$\Delta t_p^{ЦСД} = K \cdot \Delta t_k^{ЦСД} = 0,005 \cdot 50 = 0,25 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Максимальный прогиб роторов ЦВД и ЦСД по классической схеме (без учета влияния соседних пролетов) рассчитывается по следующей формуле

$$Y_{max} = \beta \Delta t_p L^2 / (8D_p),$$

где β - коэффициент линейного расширения металла ротора, D_p - диаметр вала ротора; L - расстояние между опорными подшипниками.

Расчеты дают следующие величины для максимального прогиба роторов: $Y_{max}(ЦВД) = 0,275$ мм, $Y_{max}(ЦСД) = 0,022$ мм.

Уточненные результаты, с учетом влияния соседних пролетов, были получены методом конечных элементов с помощью программы ANSYS. Расчет в ANSYS показал влияние соседних пролетов друг на друга: при Δt_p в роторе ЦВД, равной 10°С, а на РСД - 0°С, максимальный прогиб возникает на РВД и равен 0,016 мм, а при разности при Δt_p в роторе ЦСД, равной 10°С и на РВД - 0°С, максимальный прогиб возникает на РСД и равен 0,021 мм.

Для определения суммарного прогиба валопровода, возникающего при произвольном сочетании Δt_p на РВД и РСД, можно пользоваться результатами полученными выше, используя их в формуле

$$Y_p(t) = Y_{11} \cdot k_1 + Y_{33} \cdot k_3$$

где Y_{11} - прогиб валопровода турбины от разности на РВД $\Delta t_{11} = 10^\circ\text{C}$; Y_{33} - прогиб валопровода турбины от разности на РСД $\Delta t_{33} = 10^\circ\text{C}$; k_1 - коэффициент равный отношению $\Delta t_1 / \Delta t_{11} = 0,37$; k_3 - коэффициент, равный отношению $\Delta t_3 / \Delta t_{33} = 0,025$;

Прогибы, полученные с помощью этой формулы, следующие: на роторе ЦВД - 0,060 мм, а на роторе ЦСД - 0,019 мм.

Величины прогибов роторов ЦВД и ЦСД, определенные с учетом влияния соседних пролетов, получились меньше, чем эти же величины, определенные для «свободных» пролетов. Очевидно также, что величина прогиба зависит от разности температур на роторе и может существенно меняться.