

УДК 621.039

И.О.Татауров (6 курс, каф. РиПГС), М.Н.Конович, к.т.н., доц.

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРОГРАММЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВОЗМОЖНЫХ ОТКЛОНЕНИЙ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ В РЕАКТОРЕ ВВЭР-1000

На кафедре РиПГС проводятся исследования по внедрению режимов использования естественной циркуляции теплоносителя (ЕЦТ) на энергетических уровнях мощности (вплоть до 30 % от номинальной) для стационарных реакторных установок (РУ) с ВВЭР [1,2].

Благоприятным условием для режима ЕЦТ в блоках с ВВЭР является петлевая компоновка основного оборудования первого контура, наличие большого смещения по вертикали середины парогенератора (ПГ) и центра активной зоны (АЗ). Однако на АЭС нынешнего поколения возможности ЕЦТ реализуются далеко не полностью.

Результаты исследований показывают, что использование режима ЕЦТ позволяет существенно повысить как показатели надежности и безопасности работы АЭС с ВВЭР на энергетических уровнях мощности при неработающих ГЦН, так и экономическую выгоду. Это говорит о целесообразности и достижимости введения режимов с ЕЦТ в эксплуатацию как штатных.

Одним из способов интенсификации ЕЦТ, позволяющим существенно повысить тепловую мощность при этом режиме, является увеличение подогрева теплоносителя в активной зоне, так как величина тепловой мощности в режиме ЕЦТ изменяется пропорционально $\Delta T^{3/2}$, где ΔT – величина подогрева теплоносителя в реакторе [1].

Условием возникновения в контуре ЕЦТ является равенство движущего напора теплоносителя суммарному гидравлическому сопротивлению контура:

$$\Delta P_{дв} = \Delta P_{с}. \quad (1)$$

Движущий напор теплоносителя зависит от изменения плотности теплоносителя по высоте АЗ, т.е. от подогрева теплоносителя в реакторе, который увеличивается, при увеличении уровня мощности установки:

$$\Delta P_{дв} = g(\rho_{вх} - \rho_{вых})\Delta H, \quad (2)$$

$$Q = c_p \Delta T G. \quad (3)$$

Сопротивление контура зависит от его конструктивных характеристик:

$$\Delta P_{с} = \xi_{пр} G_{ЕЦТ}^2 / (2\bar{\rho} F_{жс}^2), \quad (4)$$

где $G_{ЕЦТ}$ – расход теплоносителя первого контура при ЕЦТ, кг/с; $\bar{\rho}$ – плотность теплоносителя при \bar{T}_1 и P_1 , кг/м³; $F_{жс}$ – площадь живого сечения трубопровода четырех петель, м²; $\xi_{пр}$ – суммарный приведенный коэффициент гидравлического сопротивления (КГС) первого контура к поперечному сечению "холодного" трубопровода:

$$\begin{aligned} \xi_{пр} = & \xi_{кас} \frac{4k_{пр} F_{тр}}{n_k f_k} \cdot \frac{\rho_X}{\bar{\rho}} + (\xi_{бл} + \xi_{ц} + \xi_{ш} + \xi_{вых} + \xi_{г}) \cdot \frac{\rho_X}{\rho_{гор}} + \\ & + (\xi_{дн} + \xi_{вх} + \xi_{х} + \xi_{гцн}) + K_{попр} \xi_{пг} \cdot \frac{\rho_X}{\bar{\rho}}. \end{aligned} \quad (5)$$

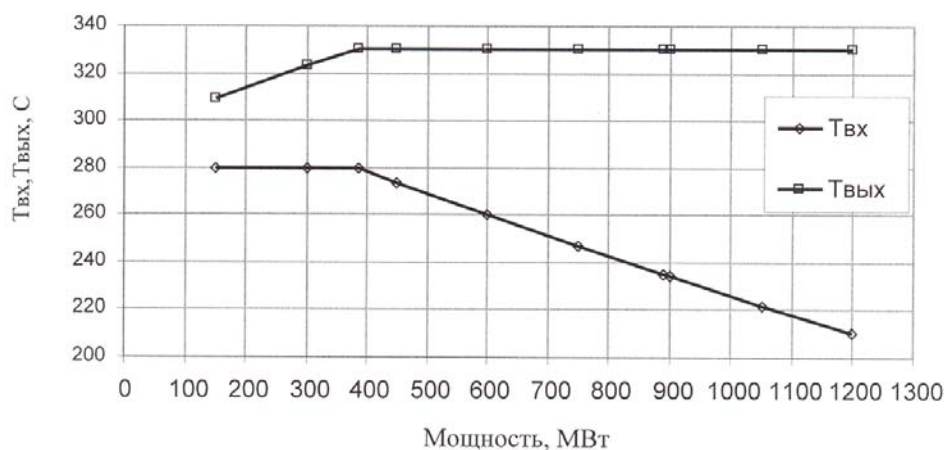


Рис.1. Программа регулирования I контура

Результаты выполненных расчетов на основе уравнений (1)...(5) позволили сформулировать программу регулирования РУ, которая состоит из 2-х сопрягаемых участков (рис. 1).

Исследования проводились для блока с реактором ВВЭР-1000 при номинальных параметрах и проектных значениях коэффициента гидравлического сопротивления (КГС) отдельных участков гидравлического тракта первого контура.

В реальности при работе блока значения КГС по различным причинам могут не соответствовать проектным значениям, а имеют определенные отклонения, которые влияют на величину тепловой мощности в режиме естественной циркуляции теплоносителя на энергетических уровнях мощности.

Была поставлена задача: определить изменение программы регулирования при условии максимального отклонения суммарного приведенного КГС первого контура, как в положительную, так и в отрицательную сторону, а также изменение максимального уровня мощности при подогреве теплоносителя не превышающем 95°С (при таком уровне мощности при ЕЦТ обеспечивается прочность корпуса реактора в зоне главных патрубков [1]).

В качестве исходных данных были взяты: номинальная мощность $Q_{НОМ} = 3000$ МВт, смещение ПГ и АЗ $\Delta H = 9,2$ м, площадь живого сечения трубопровода петли $F_{ЖС} = 0,567$ м², давление теплоносителя $P_l = 15,7$ МПа, температура выхода $T_{ВЫХ} = 330$ °С, температура входа $T_{ВХ} = 280$ °С. Отклонения от проектных значений КГС отдельных участков гидравлического тракта I контура взяты из технической документации для РУ с ВВЭР-1000 и приведены в табл. 1.

Таблица 1.

Название величины	Обозначение	Проектное значение	Отклонение, %
КГС кассеты	$\zeta_{КАС}$	16	±6
КГС входного участка РУ	$\zeta_{ДН}$	2,8	±5,2
КГС межтрубного объема БЗТ	$\zeta_{БЗТ 1}$	0,2	±10
КГС цилиндр-кой обечайки БЗТ	$\zeta_{БЗТ 2}$	0,29	±10
КГС входных отверстий шахты	$\zeta_{Ш}$	0,15	±10
КГС входных патрубков РУ	$\zeta_{ВХ}$	1,1	±6,4
КГС выходных патрубков РУ	$\zeta_{ВЫХ}$	1	±10
КГС горячей нитки ГЦТ	$\zeta_{Г}$	0,9	±10
КГС холодной нитки ГЦТ	$\zeta_{Х}$	2,1	±10
КГС ПГ	$\zeta_{ПГ}$	3,2	±10
КГС остановленного ГЦН	$\zeta_{ГЦН}$	25,3	±10

Для выполнения поставленной задачи по разработанной методике расчета ЕЦТ была написана программа в формате Excel, позволяющая учитывать изменение суммарного КГС. На основе расчетов по этой программе получен диапазон изменения мощности в зависимости от отклонения КГС (табл. 2) и построен график изменения программы регулирования I контура при максимально возможных отклонениях КГС как в положительную, так и в отрицательную стороны (рис. 2).

Из результатов исследования видно, что уровень мощности при подогреве теплоносителя не превышающем 95 °С изменяется при колебании суммарного КГС от величины 851,8 МВт при условии максимального отклонения КГС в положительную сторону до величины 933,9 МВт при условии максимального отклонения КГС в отрицательную сторону.

Данное исследование выполнено для существующего блока с реактором ВВЭР-1000. В дальнейшем предполагается провести исследование изменения программы регулирования для проектируемого блока с ВВЭР-1500.

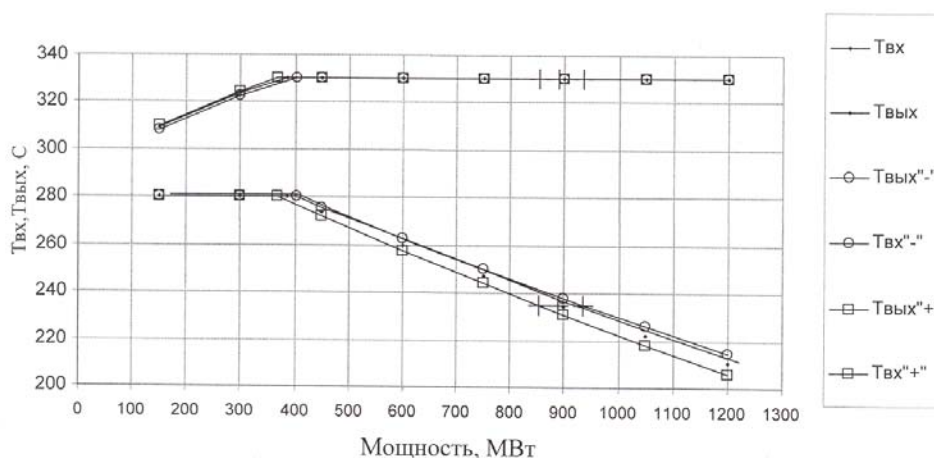


Рис. 2. Изменение программы регулирования I контура.

Таблица 2.

$Q_{ном}$	$T_{вых}$	ΔT	$T_{вх}$	Q_p	n	$t_{2s}^{расч}$	$P_2^{расч}$	$\eta_{пр}$	Отклон.
МВт	°С	°С	°С	МВт	%	°С	МПа	-	%
3000	330	50	280	403,68	13,46	279,68	6,389	40,036	-9,17
				384,72	12,82	279,71	6,391	44,080	0
				368,20	12,27	279,73	6,394	48,125	9,18
$Q_{ном}$	$T_{вых}$	ΔT	$T_{вх}$	Q_p	n	$t_{2s}^{расч}$	$P_2^{расч}$	$\eta_{пр}$	Отклон.
МВт	°С	°С	°С	МВт	%	°С	МПа	-	%
3000	330	95	235	933,92	31,13	234,3	3,025	40,334	-9,19
				890,00	29,67	234,36	3,029	44,414	0
				851,79	28,39	234,38	3,03	48,487	9,17

ЛИТЕРАТУРА:

- Благовещенский А.Я., Бор С.М., Конович М.Н., Митюков В.Н., Соколов В.Г. Формирование технической политики инновационных наукоемких технологий: Материалы науч.-практ. конф. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2003. – С.181-186.
- Благовещенский А.Я., Конович М.Н., Митюков В.Н., Соколов В.Г. Труды СПбГПУ, №491, СПб.: Изд-во Политехнического ун-та, 2004. – С. 146-152.