

УДК 662.643:621.926.7

А.С.Солдатов (магистр, каф. РиПГС), А.Я.Благовещенский, д.т.н., проф.

О ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЯХ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ПАРОГЕНЕРАТОРА ПРИ ЕСТЕСТВЕННОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ

Естественная циркуляция теплоносителя (ЕЦТ) I-го контура является важнейшим фактором обеспечения надежности и безопасности реакторных установок (РУ), а также расширения их эксплуатационных возможностей.

Главными отличиями естественной циркуляции теплоносителя от принудительной являются следующие:

1. Определяющее влияние нивелирных напоров на распределение давления в контуре;
2. Малые скорости движения теплоносителя (примерно на порядок ниже, чем при принудительной циркуляции).

При работе РУ на ЕЦТ движение теплоносителя в контуре осуществляется за счёт движущего напора, равного разности нивелирных напоров подъёмных и опускных столбов жидкости, который расходуется на преодоление сопротивления. При этом сами нивелирные напоры на отдельных участках значительно больше гидравлических сопротивлений этих участков.

Условия распределения расхода теплоносителя по горизонтальным рядам трубок парогенератора (ПГ) при принудительной и естественной циркуляции имеют принципиальные отличия. Это объясняется определяющей ролью влияния нивелирных напоров во входном и выходном вертикальных коллекторах парогенератора на перепады давления между входом и выходом в трубки в зависимости от вертикальной координаты в режиме естественной циркуляции.

В [1] было получено выражение, определяющее расход теплоносителя по трубкам горизонтального ПГ:

$$\frac{G_T^Z}{G_T^{Z=0}} = \sqrt{1 + \frac{z}{m\Delta H}}, \quad (1)$$

где ΔH — смещение среднего ряда трубок ПГ относительно центра активной зоны по вертикали; $G_T^{Z=0}$ — расход теплоносителя через трубку ПГ, находящуюся по середине трубного пучка по высоте ($Z=0$); G_T^Z — расход теплоносителя через трубку ПГ с координатой Z ; z — вертикальная координата рассматриваемого ряда труб относительно среднего; m — доля сопротивления ПГ в общем сопротивлении контура;

Было также получено условие исключения прекращения и опрокидывания циркуляции в нижних рядах труб.

$$\frac{H_{nz}^{mp}}{m\Delta H} < 2, \quad (2)$$

где H_{nz}^{mp} - высота трубного пучка ПГ.

В ВВЭР-1000 условие (2) не выполняется и имеет место опрокидывание циркуляции.

В процессе исследования теплогидравлических особенностей горизонтального парогенератора при ЕЦТ был произведен дополнительный анализ влияния ниже перечисленных факторов на условия распределения расхода по трубкам ПГ:

- 1) подмешивание “холодной” воды в “горячий” коллектор;

2) уменьшение суммарной площади живого сечения трубного пучка для прохода теплоносителя в “прямом” направлении;

3) увеличение общего расхода через оставшиеся в нормальной работе трубки теплообменной поверхности ПГ по сравнению с расходом, поступающим в “горячий” коллектор ПГ из реактора.

Результаты расчетов показали незначительное влияние подмешивания “холодной” воды в “горячий” коллектор на температуру теплоносителя в горячем коллекторе. Такой результат объясняется тем, что из-за цилиндрической формы корпуса горизонтального ПГ, трубный пучок имеет зауженную нижнюю часть, и в нижней части коллектора находится сравнительно небольшое число трубок. Расход теплоносителя в опрокинутых трубках мал по сравнению с общим расходом, поэтому влиянием этого фактора на температуру теплоносителя в горячем коллекторе, как показали расчеты, можно пренебречь. Анализ 2-го и 3-го вышеупомянутых факторов показал, что величина m изменяется незначительно (в пределах 10%), что подтверждает работоспособность критерия (1) для оценки условий ЕЦТ в трубках горизонтального ПГ.

Опрокидывание циркуляции в трубках ПГ в режимах ЕЦТ может неблагоприятно влиять на условия работы металла отдельных конструктивных элементов ПГ, в частности, на напряженное состояние горячего коллектора. В результате расчета напряженного состояния коллектора было выявлено, что возникающие температурные напряжения, в статической постановке, не превышают предельно допустимых в рассматриваемом диапазоне мощностей ЯЭУ (10...20 % от $Q_{ном}$), однако для окончательного заключения по данному вопросу требуется учет возможной цикличности напряжений.

Результаты исследования внушают определенный оптимизм применительно к продолжению исследований по обоснованию режимов работы энергоблоков с ВВЭР-1000 на ЕЦТ на энергетических уровнях мощности.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Благовещенский А.Я., Митрюхин А.Г., Леонтьева В.Л. Распределение расхода теплоносителя по трубкам горизонтального парогенератора в режимах использования естественной циркуляции в первом контуре ЯЭУ // Атомная энергия, 1997.