

Исследование АКЗ ВВЭР-1000 при разных программах регулирования энергоблоком.

Т.О. Цисельська¹

Анотація – The core-well by WWER-1000 at the variable regime of power energy at different regulating programs is investigated from notion of axial stability at changing technological parameters. The most effective program of regulation providing comprehensible stability of axial offset at change of reactor power from 80 % to 100 % is defined.

Ключові слова – активна зона, ВВЭР-1000, енерговиділення, аксіальний офсет, реактивність, потужність.

«Энергетическая стратегия Украины на период до 2030 г.» определяет увеличение доли выработки электроэнергии на АЭС до 60 % за счет адаптации действующих и вновь вводимых АЭС к специфическим условиям работы в энергосистеме, которые определяются долей выработки электроэнергии на АЭС. Если эта доля находится в пределах (25...50) %, а доля генерирующих установок, работающих в пиковом режиме, менее 15 %, то возникает несоответствие между выработкой и потреблением электроэнергии. Несоответствие усугубляется, если доля выработки электроэнергии на АЭС в энергосистеме превышает 50 %.

Вообще говоря, при переходе с одного уровня мощности на другой технологические параметры энергоблока изменяются, что существенно влияет на экономичность энергоблока, его надежность и тепловую эффективность, а также на дальнейшую (после маневра) работу в номинальном режиме. Применяемые в практике эксплуатации программы регулирования, характеризуют, изменение технологических параметров энергоблока во время перехода с одного стационарного уровня мощности на другой.

Количество теплоты, генерируемое в АКЗ реактора и воспринимаемое в первом контуре теплоносителем за единицу времени:

$$Q_1 = G_1 \cdot c_p (T_1^{\text{вх}} - T_1^{\text{вх}}) \quad (1)$$

где G_1 — массовый расход теплоносителя (принимая, что $G_1 = \text{const}$),

c_p — удельная теплоёмкость теплоносителя первого контура,

$T_1^{\text{вх}}$ — температура теплоносителя первого контура на выходе из АКЗ,

$T_1^{\text{вх}}$ — температура теплоносителя первого контура на входе в АКЗ;

Количество теплоты, которое передается из первого контура во второй за единицу времени:

$$Q_{I-II} = k \cdot F (T_1^{\text{ср}} - T_s^{\text{II}}) \quad (2)$$

где k — среднеэксплуатационный коэффициент теплопередачи в парогенераторах,

F — суммарная эффективная площадь поверхностей теплообмена парогенераторов,

$T_1^{\text{ср}}$ — средняя температура теплоносителя в АКЗ,

T_s^{II} — температура насыщения пара во втором контуре.

Такая модель описывает энергоблок как точечную модель и не учитывает изменения мощности ядерного реактора в верхней и нижней части АКЗ [1,2] и как следствие не определяет условий устойчивости при циклических изменениях нагрузки, определяемые аксиальными ксеноновыми колебаниями. Целесообразно для анализа устойчивости работы АКЗ дополнить рассматриваемую модель выражением аксиальной стабильности поля энерговыделения реакторной установки в зависимости от технологических параметров при маневрировании мощностью используя различные программы регулирования [3].

Для оценки стабильности поля энерговыделения в АКЗ принимается двухточечная модель АКЗ ЯР [4]. Поэтому имеет смысл исследовать задачу управления нейтронным полем РУ при маневрировании мощностью, состоящую в предотвращении и подавлении высотных ксеноновых колебаний энерговыделения в АКЗ, сводимую к управлению величиной аксиального офсета (АО).

Нестационарное отравление реактора ксеноном относится к медленным эффектам и усиливает любое отклонение нейтронного потока за счет эффекта реактивности, относящегося к быстрым эффектам. В связи с этим можно выдвинуть предположение, что контроль энерговыделения в АКЗ при маневрировании мощностью сводится к выбору температурного режима теплоносителя, при котором аксиальная стабильность поля энерговыделения была бы максимальной.

Критерий эффективности температурного режима теплоносителя с точки зрения стабильности аксиального офсета в ходе маневрирования мощностью РУ по любой программе регулирования будет:

$$\min \left| \sum_{i=1}^m (\delta < T_v > - \delta < T_n >) \right|, \quad (3)$$

где i — номер шага по мощности (малого изменения мощности); m — количество шагов по

¹ Одеський національний політехнічний університет, просп. Шевченка, 1 м. Одеса, 65044 УКРАЇНА, E-mail: bela_donna@mail.ru

мощности в каком-либо направлении при маневре мощностью РУ.

Используя критерий (3) можно обоснованно выбирать температурный режим теплоносителя, который позволяет обеспечить максимальную аксиальную стабильность поля энерговыделения при маневрировании мощностью РУ.

Необходимо исследовать следующие программы регулирования при маневрировании мощностью в диапазоне от 100% до 80% $N_{ном.}$ с точки зрения аксиальной стабильности:

“I” — программа регулирования с постоянной входной температурой теплоносителя;

“II” — программа регулирования с постоянной средней температурой теплоносителя;

“III” — программа регулирования, в которой входная температура теплоносителя при снижении мощности РУ от 100 % до 80 % увеличивается на 1 °С;.

Для всех программ изменение мощности реактора в зависимости от времени задавалось по одному и тому же временному графику и принималось, что при снижении мощности с $N_1=100$ % до $N_2=90$ % мощность изменяется

по линейному закону со скоростью $dN_{1-2} / \partial\tau = -2$ % / 6 мин (за счет ввода борной кислоты), при снижении с $N_2=90$ % до $N_3=80$ % мощность изменяется по

линейному закону со скоростью $dN_{2-3} / \partial\tau = -0,4$ % / 6 мин (за счет отравления реактора); при выдержке РУ на уровне мощности $N_3=80$ % параметром

критичности была концентрация борной кислоты в теплоносителе. При увеличении мощности с $N_3=80$ % до $N_1=100$ % мощность изменяется по линейному закону со

скоростью $dN_{3-1} / \partial\tau = 1,0$ % / 6 мин за счет ввода чистого дистиллята при одновременном возврате регулирующей группы СУЗ в регламентное положение, причем амплитуда перемещения ОР задавалась

$$\Delta H^{max} = 4 \%$$

С помощью программы ИР было рассчитано изменение распределения линейной мощности по восьми аксиальным слоям АКЗ, после чего с помощью программы FEMAXI [5] найдены значения средней температуры теплоносителя в верхней и нижней половинах АКЗ с временным шагом 0,5 ч, а также

рассчитаны $\delta < T_v >$ и $\delta < T_n >$. Это дало возможность

$$\text{найти } \left| \sum_{i=1}^6 \Delta\delta T \right|, \text{ где} \\ \Delta\delta T \equiv \delta < T_v > - \delta < T_n > \quad (4)$$

Используя критерий (3), можно сделать вывод, что, с точки зрения стабильности АО, температурный режим “I” наилучший, а температурный режим “II” — наихудший.

Анализ амплитуд перемещения регулирующей

группы СУЗ в ходе маневра по программам регулирования “I”, “II” и “III” от $N=100$ до $N=80$ % одинаков, но максимальное расхождение показаний мгновенного и равновесного офсетов по программе “I” ($\approx 1,9$ %) меньше, чем по программе “II” (≈ 3 %) и по программе “III” ($\approx 2,3$ %). Анализ амплитуд перемещения подтвердил проведенные расчеты, о том, что, стабильность аксиального распределения энерговыделения в АКЗ при изменении мощности от $N=100$ до $N=80$ %, при прочих равных условиях, в программе регулирования “I” эффективнее, чем в программе с “II” и программы “III”.

ВИСНОВОК

Анализ аксиального распределения нейтронного поля в АКЗ ВВЭР-1000 при маневрировании мощностью РУ показал, что его можно стабилизировать путем выбора температурного режима теплоносителя. В процессе проведения изменения мощности регламентное расхождение показателей мгновенного и равновесного офсетов не может быть более 2 %, получено, что амплитуда необходимая для стабилизации аксиального офсета перемещения регулирующей группы СУЗ при маневрировании мощностью РУ по программе регулирования с постоянной входной температурой теплоносителя составляет ≈ 4 %, тогда как при маневрировании мощностью по программе регулирования с постоянной средней температурой теплоносителя, амплитуда требуемого перемещения регулирующей группы составляет ≈ 6 %, при прочих равных условиях.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

- [1] Иванов, В.А. Эксплуатация АЭС/ В.А. Иванов. — Ст.— Петербург: Энергоатомиздат, 1994. — 379 с.
- [2] Баскаков, В.Е. Компромиссно-комбинированный метод регулирования мощности РУ с ВВЭР—1000 (В—320) в переменном режиме нагружения./ В.Е. Баскаков: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. — Одесса, 2010. —20 с.
- [3] Метод оценки эксплуатационного ресурса оболочки твэла ВВЭР-1000 в различных режимах нагружения / М.В. Максимов, С.Н. Пелых, О.В. Маслов, В.Е. Баскаков // Изв. вузов. Ядерная энергетика. — 2010. — Т. 108, №5. — С. 294—299.
- [4] Коренной, А.А. Устойчивость поля нейтронов при переходных процессах в активной зоне реактора ВВЭР-1000. / А.А. Коренной: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. — Одесса, 2003, 19 с.
- [5] Сузуки, М. Моделирование поведения твэла легководного реактора в различных режимах нагружения: [монография]/ М. Сузуки; автор пер. с англ. яз. С.Н. Пелых; под науч. ред. М.В. Максимова. — Одесса, 2010. — 248 с.