

УДК 621.039.5; 621.311.25

С.М.Григорашенко (6 курс, каф. АиТЭУ), И.И.Лощаков, д.ф.-м.н., проф.

## МОДЕРНИЗАЦИЯ ПЕРВОГО КОНТУРА КОЛЬСКОЙ АЭС С ЦЕЛЬЮ ПРОДЛЕНИЯ ЕЁ РЕСУРСА

Для уменьшения дозовой нагрузки от быстрых нейтронов на корпус реактора, на Кольской АЭС (КАЭС) в активную зону, между шахтой и стенкой корпуса, были введены металлические кассеты – экраны. По этой причине расход теплоносителя в первом контуре необходимо было уменьшить. Для решения этой задачи был выбран способ подрезания лопаток главного циркуляционного насоса (ГЦН).

Целью данной работы было определение гидравлических характеристик (ГХ) ГЦН на втором энергоблоке КАЭС, после подрезки лопаток.

На основании гидравлических характеристик с помощью метода замещений был разработан алгоритм расчёта расхода теплоносителя через ГЦН и тепла, передаваемого каждым парогенератором (ПГ), а также всех параметров, относящихся к первому и второму контурам: давления свежего пара, температур, перепадов давления и т. д.

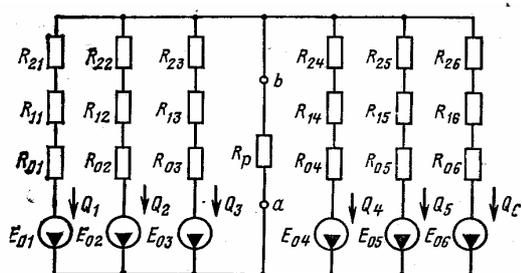


Рис. 1 Схема замещения ГЦК:

$R_{01} - R_{06}$  - гидравлические сопротивления ГЦН;  
 $R_{11} - R_{16}$  - гидравлические сопротивления ПГ;  
 $R_{21} - R_{26}$  - гидравлические сопротивления петель  
 (трубопроводов, ГЗЗ);  $R_p$  - гидравлическое  
 сопротивление реактора

На этапе пуско-наладочных работ (ПНР) второго энергоблока КАЭС с реактором ВВЭР-440 были проведены работы с целью получения экспериментальных значений коэффициентов, входящих в систему алгебраических уравнений, описывающую реальные стационарные процессы передачи тепла активной зоны (а.з.) к ПГ, преобразование энергии теплоносителя первого контура в энергию пара и получение электрической энергии в турбогенераторах. Такая система уравнений позволяет при подстановке в нее значений величин технологических параметров контура, измеренных с высокой степенью точности,

получать расчетным путем значения остальных параметров, входящих в эту систему. Сравнивая расчетные значения с показаниями измерительных приборов, можно оценить достоверность этих показаний. Успешному решению такой задачи могут служить следующие факторы:

- высокий уровень достоверности результатов измерения, получаемых с помощью штатной системы ВРК: температуры теплоносителя первого контура и температуры питательной воды;

- стабильность технических характеристик энергетического оборудования, в том числе: ГЦН, ПГ, трубопроводов первого и второго контуров;

- слабая зависимость коэффициентов гидравлического сопротивления (КГС) участков первого контура реактора от расхода теплоносителя в широком диапазоне его изменения при работе шести, пяти и четырех ГЦН.

Обозначив перепад давления  $\Delta P_p$  между точками  $a$  и  $b$  (см. рис. 1) и учитывая, что алгебраическая сумма перепадов давления в замкнутом контуре гидравлической цепи равна

нулю, а сумма расходов теплоносителя на входе в узел равна сумме расходов теплоносителя на выходе из узла, составим систему уравнений (1), (аналогичную системе уравнений правил Кирхгофа в электрических цепях) вида:

$$\begin{cases} E_{0i} = Q_i^2 (R_{0i} + R_{\text{ПГ}i} + R_{\text{ТР}i}) + \Delta p_p, & i = 1, 2, \dots, n; \\ \Delta p_p = R_r Q_p^2; \\ Q_p = \sum_{i=1}^n Q_i, \end{cases} \quad (1)$$

где  $\Delta P_{\text{ГЦН}}$  — перепад давления на ГЦН, кгс/см<sup>2</sup>;  $Q$  — расход теплоносителя, м<sup>3</sup>/ч;  $E_0, R_0$  — коэффициенты, определяемые с помощью метода наименьших квадратов;  $R_{\text{ПГ}i} = \Delta P_{\text{ПГ}i} / Q_i^2$ ;  $R_{\text{ТР}i} = \Delta P_{\text{ТР}i} / Q_i^2$ ;  $R_p = \Delta P_p / Q_p^2$ ;  $\Delta P_{\text{ПГ}i}$  — перепад давления на ПГ  $i$ -й петли;  $\Delta P_{\text{ТР}i}$  — суммарный перепад давления на трубопроводах «холодной» и «горячей» ниток  $i$ -й петли, включая и ГЗЗ;  $\Delta P_p$  — перепад давления на реакторе;  $Q_i$  — расход теплоносителя  $i$ -й петли;  $Q_p = \sum Q_i$  — расход теплоносителя через реактор;  $R_{\text{ПГ}i}, R_{\text{ТР}i}, R_p$  — коэффициенты, пропорциональные гидравлическим сопротивлениям соответствующих участков ГЦК,  $n=6$  для реактора ВВЭР-440.

Имея, в общем случае, 18 уравнений, из системы (1) можно независимым способом определить 18 коэффициентов, являющихся термодинамическими параметрами первого контура. Иначе говоря, если прямое измерение какого то параметра, входящего в (1), представляется сомнительным, его (параметр) можно определить, решая систему.

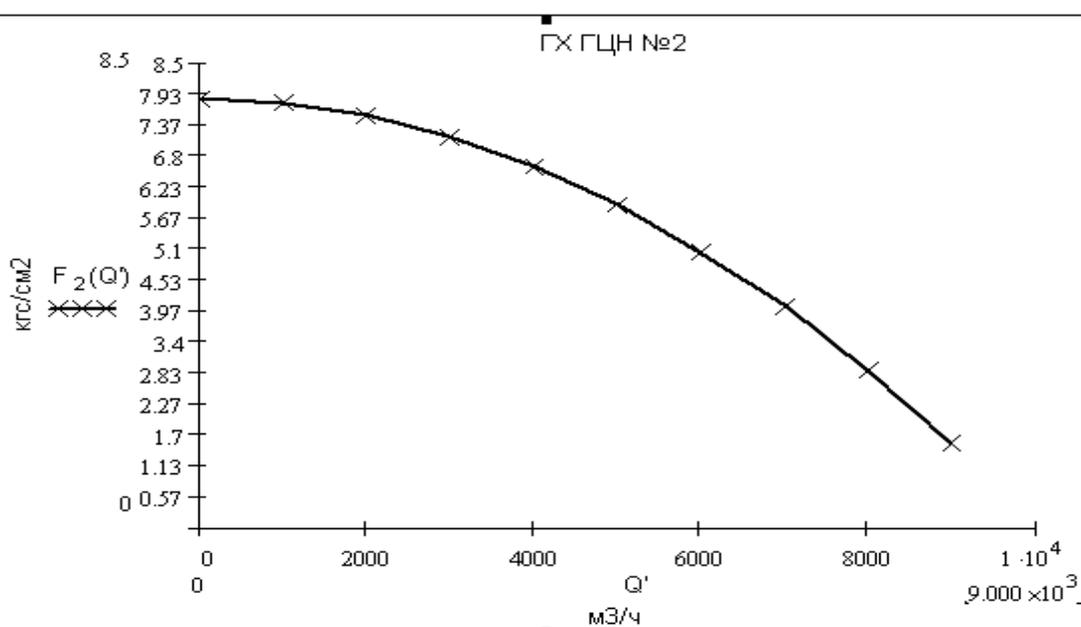


Рис. 2 Изменение перепада давления для ГЦН 2 в зависимости от расхода теплоносителя

Таким образом, измеряя с помощью штатной системы внутриреакторного контроля (ВРК) «Гиндукуш» с высокой степенью точности какие-то параметры, остальные термодинамические параметры ГЦК и второго контуров можно аналитически определять из системы уравнений (1), а следовательно, можно снизить количество штатных датчиков, снизить затраты на ремонт и обслуживание этих приборов, и, соответственно, должна снизиться себестоимость электроэнергии.

На АЭС с высокой степенью точности измеряют следующие величины: частота сети, температура теплоносителя в «холодной» и «горячей» нитках петель, хорошо известны также коэффициенты ( $R_{\text{ПГ}i}, R_p, E_{0i}, P_1, T_{\text{ПВ}}, R_{\text{ТР}i}$ ), характеризующие ГЦК конкретной ЯППУ ВВЭР, расчетным же путем, из (1), можно получить значения следующих параметров:

перепады давления на ГЦН, ПГ и реакторе, расходы теплоносителя по петлям и через реактор, и, соответственно, можно получить значения тепловой мощности, переносимой теплоносителем в ПГ через каждую петлю в отдельности.

При расчете ГХ мы использовали данные системы ВРК во время освоения мощности второго энергоблока КАЭС. При работе реактора на 25% от  $N_{\text{ном}}$  и 95% от  $N_{\text{ном}}$ , в работе было разное количество ГЦН в момент снятия показаний приборов:

В результате решения системы (1) определен расход теплоносителя в петле и построены соответствующие характеристики. На рис. 2, в качестве примера, показана одна из ГХ для второй петли ВВЭР – 440.