

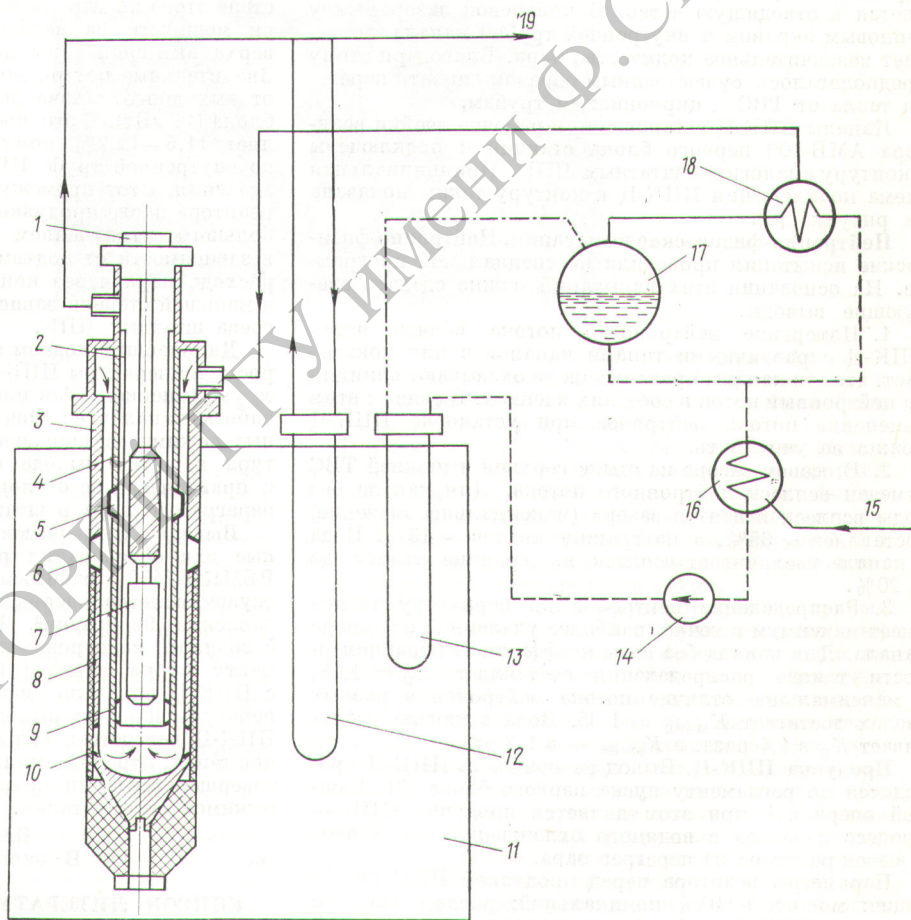
УДК 621.039.524.2.034.44

## Испытания циркониевых пароперегревательных каналов в реакторе первого блока Белоярской АЭС им. И. В. Курчатова

ГРИГОРЬЯНЦ А. Н., БАТУРОВ Б. Б., МАЛЫШЕВ В. М., ШИРОКОВ С. В., МИХАН В. И.

Одним из путей совершенствования реакторов типа РБМК является осуществление в них ядерного перегрева пара, как это предусмотрено, например, в проекте РБМКП-2400 мощностью 2400 кВт [1]. Для проверки правильности конструктивных решений, отработки отдельных узлов конструкции канала и тепловыделяющих сборок (ТВС), изучения режимов их работы с перегревом пара проводятся испытания циркониевых пароперегревательных каналов (ППК-Ц) в первом блоке Белоярской АЭС.

Экспериментальный ППК-Ц представляет собой сварную конструкцию — корпус, в который устанавливаются две (одна над другой) ТВС с шестью стержневого типа (см. рисунок). Корпус канала состоит из наружной и внутренней трубы. Верхняя часть (вне активной зоны) наружной трубы выполнена из



Принципиальная конструктивная схема канала и подключение его к контуру:

1 — ППК-Ц; 2 — тепловой экран; 3, 4 — наружная и внутренняя трубы корпуса; 5 — переходник внутренней трубы; 6 — верхний переходник наружной трубы; 7 — ТВС; 8 — втулки графитовые; 9 — узел уплотнения теплового экрана и внутренней трубы; 10 — нижний переходник наружной трубы; 11 — реактор; 12 — штатный ППК; 13 — испарительный канал; 14 — главный циркуляционный насос; 15 — питательная вода; 16 — подогреватель парогенератора; 17 — сепаратор; 18 — испаритель парогенератора; 19 — пар на турбину; — — — — пар; - - - - - вода; ..... — пароводяная смесь

нержавеющей стали, нижняя (в активной зоне) — из циркониевого сплава. Стальная труба и хвостовик соединены с циркониевой трубой с помощью переходников, представляющих собой прочнопластичное соединение, выполненное специальной сваркой.

Внутренняя труба корпуса также состоит из двух частей: верхняя часть изготовлена из нержавеющей стали, нижняя (в активной зоне) — из циркониевого сплава. Части соединяются через переходник. Для снижения температуры циркониевого сплава с внутренней стороны трубы устанавливается тонкостенный тепловой экран из нержавеющей стали. На корпус канала надеты графитовые втулки.

Теплоноситель в ППК-Ц поступает из подводящей ветви через калач в входной штуцер, проходит кольцевой зазор между наружной и внутренней трубами, поступает в полость хвостовика, из которого поднимается вверх по межтрубному пространству, и затем из верхней камеры через выходной штуцер и калач направляется в отводящую ветвь. В кольцевой зазор между тепловым экраном и внутренней трубой канала поступает незначительное количество пара. Благодаря этому предполагалось существенным образом снизить перетоки пара от ТВС к циркониевым трубам.

Каналы ППК-Ц установлены в рабочие ячейки реактора АМБ-100 первого блока станции и подключены к контуру аналогично штатным ППК. Принципиальная схема подключения ППК-Ц к контуру также показана на рисунке [2].

**Нейтронно-физические испытания.** Нейтронно-физические испытания проводили по специальной программе. На основании этих испытаний можно сделать следующие выводы.

1. Измерение нейтронного потока вблизи ячеек ППК-Ц с различными типами каналов в них показывает, что эти каналы практически не оказывают влияния на нейтронный поток в соседних ячейках. В связи с этим изменение потока нейтронов при установке ППК-Ц можно не учитывать.

2. В осевом зазоре на стыке верхней и нижней ТВС отмечен всплеск нейтронного потока. Для канала без воды всплеск в центре зазора (максимальное значение) составляет ~ 35%, а на границе твэлов ~ 13%. Вода в канале увеличивает всплеск на границе твэлов до ~ 20%.

3. Распределение нейтронов по периметру твэлов имеет максимум в точке, наиболее удаленной от центра канала. Для канала без воды коэффициент неравномерности такого распределения составляет  $K_p = 1,18$ , а максимальное отличие потока нейтронов в разных твэлах достигает  $K_{\max} = 1,35$ . Вода в канале увеличивает  $K_p$  в 1,1 раза, а  $K_{\max}$  — в 1,2 раза.

**Продувка ППК-Ц.** Вывод на мощность ППК-Ц проводится по регламенту пуска первого блока [3]. Важной операцией при этом является продувка ППК — процесс перехода с водяного охлаждения на паровое и вывод реактора на перегрев пара.

Параметры реактора перед продувкой ППК следующие: мощность 10% номинальной; расход воды по каждому ППК 1—1,5 т/ч; температура питательной воды 190 °С; давление в испарителях парогенератора на 25 кгс/см<sup>2</sup> выше давления насыщения; температура воды после ППК 260—265 °С.

При продувке ППК мощность реактора снижается до 2,5%, подача питательной воды в контур прекращается, расход по каналам за счет аккумулярованного

тепла в контуре увеличивается сбросом воды с главных паропроводов в специальную емкость. Через 20—25 мин появляются уровни воды в испарителях парогенераторов и растет температура перегретого пара за каждым ППК, что свидетельствует об окончании продувки. Начинается подъем мощности.

**Подъем мощности.** После продувки ППК с подъемом мощности наблюдается резкое увеличение температуры пара на выходе из ППК-Ц. Максимальная скорость разогрева в первое время после продувки наблюдалась во внутренней трубе ППК-Ц (20 °С/мин), а скорость увеличения температуры пара на выходе ППК-Ц составляла 3,3 °С/мин, тогда как у штатных ППК скорость изменения температуры пара на выходе не превышала 1,3 °С/мин. Замер температуры хвостовика ТВС показал, что значительные перетоки тепла между поднимающимися и опускающимися потоками теплоносителя могут быть объяснены неудовлетворительной работой уплотнения теплового экрана в нижней части канала. Вследствие этого по мере разогрева ППК-Ц возрастают потери мощности на необогреваемой части канала от верха активной зоны до выходного калача (25 кВт). Значительные потери мощности приходится на участок от выходного калача до коллектора перегретого пара блока (11 кВт). В это время мощность реактора составляет 11,5—12,2% номинальной, а температура пара во внутренней трубе ППК-Ц достигает максимального значения. Этот промежуток времени (подъем мощности реактора после продувки от 2 до 12%) характеризуется большим увеличением скорости разогрева ППК-Ц в зависимости от подъема мощности вследствие малого расхода пара через канал. Аналогичным образом, но в меньшей степени зависит от мощности скорость разогрева штатных ППК.

Дальнейший подъем мощности реактора не вызывал роста температуры ППК-Ц, а напротив, сопровождался ее уменьшением. Как показали наблюдения, в процессе работы каналов на мощности 80%, а также в переходных режимах в диапазоне мощности 80—100% температура пара на выходе из ППК-Ц составляла 520 °С и практически не отклонялась от средней температуры перегретого пара в штатных каналах.

**Выводы.** Экспериментальные ППК-Ц, разработанные для обоснования решений, принятых в проекте РБМКП-2400, работоспособны. В каналах ППК-Ц осуществляется ядерный перегрев пара до 520 °С при давлении 90 кгс/см<sup>2</sup>. Перевод охлаждения каналов с водяного на паровое проводится по штатному регламенту пуска первого блока. Пуски первого блока с ППК-Ц показали значительные скорости роста температуры пара на выходе из канала после продувки ППК-Ц вследствие больших внутриканальных перетоков тепла. Это обстоятельство должно быть учтено при совершенствовании конструкции ППК-Ц и уточнении режимов эксплуатации.

Поступило в Редакцию 17.IV.78  
В окончательной редакции 12.VI.78

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Доллежал Н. А., Емельянов И. Я. «Атомная энергия», 1976, т. 40, вып. 2, с. 117.
2. Киреев Г. А., Широков С. В., Малышев В. М. «Электрические станции», 1974, № 6, с. 8.
3. Алещенков П. И. и др. «Атомная энергия», 1971, т. 30, вып. 2, с. 137.