

ПАРОГЕНЕРАТОР ДЛЯ ЭНЕРГОБЛОКА С РЕАКТОРНОЙ УСТАНОВКОЙ БН-1200

П.О. Андреев, В.В. Денисов, В.В. Сотсков, В.А. Чабан

В рамках работ по НИОКР в обоснование технического проекта парогенератора БН-1200 с натриевым теплоносителем продолжается выполнение НИОКР в обоснование новых технических решений по конструкции парогенератора.

В течение 2016 г. были выполнены основные работы в обоснование технического проекта парогенератора:

1. Разработан раздел в частное ТЗ на выполнение проектно-конструкторских исследований для улучшения технико-экономических характеристик энергоблока.

2. Откорректирован технический проект ПГ по замечаниям экспертного совета в 2016г., заказчика (АО «ОКБМ АФРИКАНТОВ») и предприятий соисполнителей (АО «АТОМПРОЕКТ», ФГУП «ЦНИИ КМ «Прометей», АО «ГНЦ РФ-ФЭИ»), а также учтены результаты аттестационных испытаний стали марки 07X12НМФБ и ее сварных соединений, проведенных ФГУП «ЦНИИ КМ «Прометей».

При корректировке технического проекта ПГ были учтены:

а) изменения элементов корпуса;
б) уточнение модели эксплуатации РУ БН-1200 в части прохождения режима «Подключение петли» и количества режимов;

в) уточнение модели эксплуатации РУ БН-1200 в части прохождения режимов «Отключение петли» и количества режимов;

г) требования методики 485М-Пр-094 в части определения коэффициентов интенсивности напряжений и подраста трещин в трубных досках и узлах заделки теплообменных труб;

д) изменение конструкции патрубков входа воды и выхода пара, с целью повышения прочности и эксплуатационной надежности паровой камеры модуля;

е) введение вставок на патрубках модуля из материала, аналогичного примыкающим к ним трубопроводам, для исключения сварки разнородных материалов на монтаже;

и) новая компоновка помещения бокса ПГ, условия монтажа ПГ, изменение опор модуля теплообменного и новой трассировки трубопроводов второго контура.

3. Выполнены проектно-конструкторские исследования для улучшения технико-экономических характеристик энергоблока, направленные на снижение капитальных затрат на сооружение энергоблока с РУ БН-1200, обеспечение конкурентоспособности по отношению к перспективным энергоблокам АЭС с РУ на тепловых нейтронах и альтернативным источникам электрогенерации.

В работе представлены проработки двухмодульного парогенератора с укороченной длиной теплообменных труб, включая:

- изменение конструкции патрубков подвода/отвода натрия (для уменьшения гидравлического сопротивления ПГ по второму контуру);

- изменение конструкции верхней натриевой камеры с целью снижения уровня вибрации и выравнивания расхода натрия по сечению трубного пучка;

- анализ возможности увеличения назначенного срока службы модулей ПГ до 60 лет.

Кроме того, в рамках работы по улучшению технико-экономических характеристик парогенератора выполнены следующие работы:

- выполнены оптимизационные теплогидравлические расчеты крупномодульного парогенератора для РУ БН-1200 в номинальном режиме для одного модуля при различных габаритных размерах трубного пучка по высоте и количестве теплообменных труб в пучке.

- рассмотрены варианты ПГ с различной толщиной стенки теплообменных труб из марок сталей (07X12НМФБ и 03X18Н13С2АМ2-Ш, а также сплава 03X21Н32М3Б).

- выполнен расчет на прочность по выбору основных размеров корпусных элементов модуля ПГ, и по результатам расчета проведен анализ возможности использования в качестве альтернативного варианта стали 07X12НМФБ сталей марок:

- аустенитного класса - 08X16Н11М3, 03X18Н13С2АМ2-Ш;
- сплава на железоникелевой основе - 03X21Н32М3Б.

Проведенный анализ, в рамках улучшения технико-экономических характеристик модуля ПГ показал наличие возможности увеличения ресурса работы модуля до $5 \cdot 10^5$ ч (60 лет). Однако для окончательного заключения об обеспечении увеличения ресурса работы модуля до 60 лет и выбора конструкционного материала рекомендуется выполнить следующие работы:

- по уточнению характера протекания высокотемпературных режимов при срабатывании АЗ, в части длительности протекания, т.к. время протекания режима оказывает существенное влияние на механические свойства конструкционного материала, а увеличение длительности режима приводит к увеличению расчетной толщины элементов;

- по уточнению характера протекания режима БМТ (большая межконтурная течь) в части снижения давления во втором контуре ПГ и, в случае необходимости, принятия конструктивных мер по предотвращению увеличения давления до величины более $P=1,4$ МПа;

- по исследованию длительных механических свойств сплава 03X21Н32М3Б свыше 10^5 ч для использования его в элементах модуля ПГ.

- по улучшению технологии выплавки (контролируемая плавка) и изготовлению полуфабрикатов для повышения механических кратковременных и длительных свойств стали и уменьшения их разброса;

4. Проведены материаловедческие исследования конструкционных и сварочных материалов, включая их аттестацию в обоснование возможности использования стали марки 07X12НМФБ и ее сварных соединений для изготовления парогенератора РУ БН-1200 (теплообменного оборудования АЭУ), работающего в контакте с водой, паром и жидким натрием при температурах эксплуатации до 550 °С со сроком службы до 240 000 ч.

В продолжение работ 2016 года выпущен «Аттестационный отчет по испытаниям стали марки 07X12НМФБ и ее сварных соединений», разработанный ФГУП «ЦНИИ КМ «Прометей».

5. Представлены результаты НИОКР по исследованию термоциклической прочности в обоснование работоспособности узлов заделок труб в трубные доски парогенератора БН-1200.

Стендовые термоциклические испытания проводимые на 19-ти трубных моделях из стали 07X12НМФБ, изготовленных по штатной технологии на заводе-изготовителе ПГ Н-272 показали удовлетворительные результаты.

Представленные результаты аттестационных испытаний стали марки 07X12НМФБ и ее сварных соединений, включая разнородные сварные соединения с примыкающими трубопроводами входа-выхода теплоносителя (натрия), входа питательной воды и выхода пара, а также результаты термоциклических испытаний девятнадцатитрубной модели заделки теплообменных труб в трубные доски позволяют рекомендовать сталь марки 07X12НМФБ и ее сварные соединения в качестве конструкционного материала элементов парогенератора РУ БН-1200.