

*A. P. Marov, A. V. Beznosov, T. A. Bokova, P. A. Bokov,
A. V. Lvov, N. S. Volkov*

Нижегородский государственный технический университет
им. Р. Е. Алексеева, г. Нижний Новгород, marov_2011@mail.ru

ОБОСНОВАНИЕ КОМПОНОВКИ И ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ РЕАКТОРНОГО КОНТУРА УСТАНОВОК БРС-ГПГ МАЛОЙ И СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ С ТЯЖЕЛЫМ ЖИДКОМЕТАЛЛИЧЕСКИМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ (СВИНЦОВЫЙ И СВИНЦОВО-ВИСМУТОВЫЙ ТЕПЛОНОСИТЕЛИ)

Представлен анализ и новые научно-технические решения, соответствующие эволюционному развитию реакторных установок (РУ) малой и средней мощности с тяжелыми жидкометаллическими теплоносителями. Анализ выполнен на основе опыта создания и эксплуатации РУ со свинцово-висмутовым теплоносителем и экспериментальных исследований, выполненных в Нижегородском государственном техническом университете (НГТУ) в обоснование прорабатываемой в НГТУ РУ малой и средней мощности с горизонтальными парогенераторами (БРС-ГПГ).

Ключевые слова: реакторная установка, тяжелый жидкометаллический теплоноситель, горизонтальный парогенератор, естественная циркуляция, БРС-ГПГ.

*A. R. Marov, A. V. Beznosov, T. A. Bokova, P. A. Bokov,
A. V. Lvov, N. S. Volkov*

Nizhny Novgorod State Technical University n. a. R. E. Alekseev,
Nizhny Novgorod

SUBSTANTIATION OF THE LAYOUT AND TECHNICAL SOLUTIONS OF THE REACTOR INSTALLATION OF THE BRS-GPG UNITS OF SMALL AND MEDIUM POWER WITH A HEAVY LIQUID-METAL COOLANT (LEAD AND LEAD-VISMULOSITE)

The analysis and new scientific and technical solutions corresponding to the evolutionary development of low and medium power reactor plants with heavy liquid metal coolants are presented. The analysis was carried out on the basis of experience in the creation and operation of reactor facilities with lead-bismuth coolant and experimental research, performed at the Nizhny Novgorod State Technical University (NNSTU) in rationale of the small and medium power reactor with horizontal steam generators (BRS-GPG) had developing at NNSTU.

Key words: reactor installation, heavy liquid metal coolant, horizontal steam generator, natural circulation, BRS-GPG.

Возрастающий интерес к реакторным установкам (РУ) малой и средней мощности (МСМ) для районов Заполярья, региональных и других АЭС инициирует работы по исследованиям и разработке эволюционных, существенно новых проектных и эксплуатационных решений установок с реакторами на быстрых нейтронах, охлаждаемых тяжелыми жидкометаллическими теплоносителями (ТЖМТ). Такие решения основываются на уникальном отечественном опыте создания и эксплуатации наземных стендов-прототипов (27ВТ, 27ВТ-5, КМ1), (АПЛ пр. 645) и серийных (АПЛ пр.705 и 705К) РУ со свинцово-висмутовым теплоносителем, а также опыте работ, направленных на создание энергоблоков атомных станций различного назначения со свинцово-висмутовым (СВБР) и свинцовым (БРЕСТ) теплоносителями. Низкое давление в реакторном контуре, близкое к атмосферному (0,1–0,5 МПа), малая толщина его стенок, высокая температура ТЖМТ (до 500–550 °С) и генерируемого пара (400–500 °С) при его давлении 4,0–24,0 МПа, высокие КПД энергоблока (до 45 %), двухконтурная схема РУ, использование перспективных видов топлива (нитридного) и другие перспективные решения позволяют качественно улучшить экономику этих энергоблоков, сделать их конкурентоспособными, по сравнению с установками на дешевом углеводородном топливе.

С точки зрения безопасности, РУ с ТЖМТ выгодно отличаются от установок с натриевым и водяным теплоносителями, имеют на единицу объема удельную запасенную энергию в 20 раз меньшую, чем в РУ с ВВЭР и в 10 раз меньшую, чем с натриевым

теплоносителем. В установках с ТЖМТ отсутствует потенциальная «энергия сжатия», химическая энергия взаимодействия с цирконием, как у воды; с водой и воздухом, как у натрия, а также потенциальная энергия выделяющегося водорода с воздухом, как у воды и натрия.

В настоящее время в НГТУ выполняются: обоснование технических решений и начальный этап разработок установки в диапазоне мощности от 50 до 250 МВт (эл.) и реактором на быстрых нейтронах с горизонтальными парогенераторами (БРС-ГПГ), охлаждаемыми свинцовым или свинцово-висмутовым теплоносителем.

Результаты анализа и комплекс исследований, выполненных в НГТУ, прежде всего, экспериментальных, направленных на обоснование новых, нетрадиционных технических решений РУ БРС-ГПГ (схемы циркуляции в реакторном контуре, тип парогенераторов, отвод тепловыделений от реакторного контура в стояночных и аварийных режимах и др.) представлены предыдущих работах.

В БРС-ГПГ предлагается новая нетрадиционная организация компоновки реакторного контура и циркуляции теплоносителя, минимизирующая его протяженность при исключении дополнительных подъемно-опускных участков [1].

Применение конструкции горизонтального парогенератора, в котором трубную систему располагают с минимальным заглублением труб под уровень ТЖМТ (до ок. 1,0 м) позволяет исключить поступление воды в активную зону реактора, перепрессовку реакторного контура и др. [2–6].

Вероятно, целесообразно рассматривать применительно к РУ БРС-ГПГ характеристики активной зоны, аналогичные принятым для РУ СВБР или БРЕСТ-ОД-300 [7].

Безносовым А. В. с сотрудниками было предложено использовать на стендах и в РУ БРС-ГПГ для стояночного режима и аварийного отвода тепла от ТЖМТ воздушно-водяную смесь с мелкодисперсными каплями воды [8, 9]. В БРС-ГПГ рассматриваются размещение автономных воздушно-водяных теплообменников в корпусах ПГ, либо использование поверхностей испарителей ПГ в воздушно-водяном режиме.

В НГТУ экспериментально и расчетно-теоретически обосновывается принципиальная возможность эксплуатации РУ с замороженным на внутреннюю поверхность корпуса реактора слоем свинца системой, используемой также при расхолаживании реактора. Такое решение исключает вытекание ТЖМТ из реакторного блока при его разрушении или при аварийной ситуации «разгерметизация реакторного корпуса».

Список использованных источников

1. Ядерная энергетическая установка : пат. 2320035 Рос. Федерация / Безносов А. В., Молодцов А. А., Бокова Т. А. [и др.]; опубл. 20.03.2008, Бюл. № 8.
2. Безносов А. В., Бокова Т. А., Молодцов А. А. Экспериментальные исследования процессов, сопровождающих межконтурную неплотность парогенератора со свинцовым и свинец-висмутовым теплоносителем и оптимизация его конструкции // Известия вузов. Ядерная энергетика. 2006. № 4. С. 61–69.
3. Безносов, А. В. Технологии и основное оборудование контуров реакторных установок, промышленных и исследовательских стендов со свинцовым и свинец-висмутовыми теплоносителями / А. В. Безносов, Т. А. Бокова, П. А. Боков ; Нижегород. гос. техн. ун-т. Н. Новгород : Литера, 2016. 487 с.
4. Ядерная энергетическая установка : пат. 2313143 Рос. Федерация / Безносов А. В., Молодцов А. А., Бокова Т. А. [и др.]; опубл. 20.12.2007, Бюл. № 35.
5. Ядерная энергетическая установка на быстрых нейтронах с охлаждением тяжелыми жидкометаллическими теплоносителями плавучих атомных станций, судов и кораблей : пат. на полезн. модель 193452 Рос. Федерация : МПК G21D 9/00 / Безносов А. В., Бокова Т. А., Боков П. А., Маров А. Р., Кашина Е. Н. ; № 2019121678 ; заявл. 11.07.2019 ; опубл. 30.10.2019, Бюл. № 31.
6. Безносов, А. В. Оборудование энергетических контуров с тяжелыми жидкометаллическими теплоносителями в атомной энергетике / А. В. Безносов, Т. А. Бокова. Н. Новгород : Нижегород. гос. техн. ун-т, 2012. 536 с.
7. Белая книга ядерной энергетики / под общ. ред. проф. Е. О. Адамова. М. : Изд-во ГУП НИКИЭТ, 2001. 269 с.
8. Ядерная энергетическая установка : пат. на полезн. модель 24748 Рос. Федерация : МПК G21C 9/00 / Безносов А. В., Бокова Т. А., Пинаев С. С., Назаров А. Д. ; № 2002103889/20 ; заявл. 11.02.2002 ; опубл. 20.08.2002, Бюл. № 23.
9. Безносов, А. В. Определение характеристик теплообмена в теплообменниках низкого давления, применительно к контурам, охлаждаемым свинцовым и свинец-висмутовым теплоносителем / А. В. Безносов, А. С. Черныш, А. Д. Зудин, Т. А. Бокова, Э. Г. Новинский // Атомная энергия. 2016. Т. 121, № 5. Р. 266–271.