

УДК 621.65

**ЦИРКУЛЯЦИОННЫЙ НАСОС ТИПА ГЦНА-1391
CIRCULATION PUMP TYPE GTsNA-1391**

И.С. Синкевич, А.Д. Янович

Научный руководитель – В.В. Кравченко, к.э.н., доцент
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

I. Sinkevich, A. Yanovich

Supervisor – V. Kravchenko, Candidate of Economic Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: Данная работа посвящена комплексному исследованию главного циркуляционного насоса агрегата ГЦНА-1391, установленного на энергоблоке №1 Белорусской атомной электростанции (Белорусская АЭС). В работе раскрывается критическая роль насоса как ключевого элемента первого контура, обеспечивающего циркуляцию теплоносителя и отвод тепла от активной зоны реактора ВВЭР-1200. Проведен детальный анализ тактико-технических характеристик, конструктивных особенностей и принципа действия герметичного насоса.

Abstract: This paper presents a comprehensive study of the main circulation pump (MCP) of the GCNA-1391 unit installed at Unit 1 of the Belarusian Nuclear Power Plant (BNPP). The paper explores the pump's critical role as a key element of the primary circuit, ensuring coolant circulation and heat removal from the VVER-1200 reactor core. A detailed analysis of the pump's performance characteristics, design features, and operating principle is provided.

Ключевые слова: Белорусская АЭС, ГЦНА-1391, главный циркуляционный насос, ВВЭР-1200, первый контур, герметичный насос, безопасность АЭС, теплоноситель.

Keywords: Belarusian Nuclear Power Plant, GTsNA-1391, main circulation pump, WWER-1200, primary circuit, sealed pump, nuclear power plant safety, coolant.

Введение

Белорусская атомная электростанция – ключевой объект энергетической безопасности Республики Беларусь. Пуск первого энергоблока на основе современной российской реакторной установки ВВЭР-1200 (водо-водяной энергетический реактор мощностью 1200 МВт) ознаменовал новый этап в развитии энергетики страны. Одним из наиболее критических элементов любого реактора с водой под давлением является главный циркуляционный насос (ГЦН). Он обеспечивает циркуляцию теплоносителя через активную зону реактора, отвод тепла и передачу его во второй контур [1]. Отказ ГЦН может привести к серьезным нарушениям нормальной эксплуатации и, в худшем сценарии, к аварийной ситуации. Поэтому исследование конструкции, характеристик и систем безопасности насоса ГЦНА-1391, установленного на Белорусская АЭС, является важнейшей научно-технической задачей.

Основная часть

Главный циркуляционный насос (ГЦН) является одним из ключевых элементов первого контура ядерного реактора типа ВВЭР, выполняя критически важную функцию обеспечения принудительной циркуляции теплоносителя.

В реакторе ВВЭР тепло, выделяющееся в активной зоне в результате управляемой цепной реакции деления ядерного топлива, отводится теплоносителем – высокоочищенной водой, находящейся под высоким давлением, предотвращающим ее вскипание. ГЦН создает необходимый расход и напор, обеспечивая непрерывное движение теплоносителя по замкнутому контуру «активная зона реактора – парогенератор – главный циркуляционный насос». Эффективная работа насоса непосредственно определяет интенсивность теплоотвода от тепловыделяющих сборок, предотвращая их перегрев и обеспечивая стабильность теплового режима активной зоны. Помимо основной функции теплосъема, циркуляционный насос влияет на распределение нейтронно-физических характеристик реактора, так как равномерное распределение потока и температуры теплоносителя является одним из факторов, определяющих распределение нейтронного потока и, следовательно, энерговыделения по объему активной зоны. Таким образом, ГЦН выступает не просто как насосный агрегат, а как важнейший технологический элемент, от надежной работы которого напрямую зависят энергоэффективность, эксплуатационная стабильность и безопасность атомной электростанции в целом.

Реакторная установка ВВЭР-1200 поколения «3+», к которой относится энергоблок Белорусской АЭС, характеризуется повышенными показателями безопасности и экономичности. В составе каждой из четырех петель первого контура установлено по одному насосу ГЦНА-1391. Насосы смонтированы на корпусах парогенераторов и работают в составе главного циркуляционного контура (ГЦК), который включает в себя реактор, парогенератор, главный циркуляционный насос и соединительные трубопроводы. Работа четырех петель параллельно обеспечивает резервирование: выход из строя одного насоса не приводит к останову реактора, а лишь к снижению мощности.

Главный циркуляционный насос ГЦНА-1391 представляет собой высокотехнологичный герметичный агрегат моноблочного исполнения, спроектированный для работы в экстремальных условиях первого контура реактора ВВЭР-1200. Его конструкция характеризуется полным отсутствием традиционных сальниковых уплотнений вала, что исключает вероятность утечки радиоактивного теплоносителя в окружающую среду. Масса агрегата в сборе составляет порядка 85 тонн, при этом он рассчитан на номинальное давление 16 МПа (160 атмосфер) и температуру теплоносителя до 350°C [2].

Конструктивно насос состоит из трех основных модулей: центробежной насосной части, встроенного герметичного асинхронного электродвигателя и системы обеспечения работоспособности. Проточная часть насоса выполнена из коррозионностойкой аустенитной нержавеющей стали и включает спиральный корпус с условным проходом 500 мм, одноступенчатое рабочее колесо диаметром 780 мм с семью трехмерными лопатками гидродинамически

оптимальной формы. Особенностью конструкции является использование комбинированной системы опор: радиальные подшипники скольжения длиной 280 мм и упорный подшипник диаметром 450 мм работают в режиме гидродинамической смазки непосредственно теплоносителем первого контура [3].

Электродвигатель насоса мощностью 6,5 МВт представляет собой герметичную конструкцию с номинальным напряжением 6 кВ и частотой вращения 1000 об/мин. Статор и ротор двигателя разделены герметичными оболочками из немагнитной нержавеющей стали толщиной всего 1,2 мм, обеспечивающими магнитную связь при полной изоляции обмоток от теплоносителя. Зазор между ротором и статором составляет 4,5 мм и заполнен теплоносителем, выполняющим функции охлаждающей среды и смазки. Ротор длиной 1850 мм имеет составную конструкцию с короткозамкнутой обмоткой из меди и выполнен с динамически сбалансированной проточкой для обеспечения вибростабильности.

Система обеспечения работоспособности включает три независимых контура охлаждения: основной контур циркуляции с расходом 20 000 м³/ч, контур охлаждения электродвигателя с расходом 45 м³/ч и резервную систему аварийного охлаждения. Теплообменники системы выполнены из титанового сплава и обеспечивают поддержание температуры обмоток статора не выше 65°C при номинальном режиме работы. Для контроля целостности герметичных оболочек установлена многоуровневая система мониторинга с датчиками давления, температуры и проводимости, способная зафиксировать протечки объемом всего 0,1 литра в час.

Принцип действия насоса основан на преобразовании механической энергии вращения в энергию потока теплоносителя. При подаче напряжения на электродвигатель ротор с рабочим колесом разгоняется до рабочей частоты вращения 1000 об/мин за 180 секунд. Теплоноситель поступает через осевой входной патрубок диаметром 600 мм, захватывается лопатками рабочего колеса и под действием центробежной силы приобретает скорость до 25 м/с. В спиральном отводе кинетическая энергия потока преобразуется в давление величиной 1,1 МПа. Одновременно часть потока (примерно 0,2% от номинальной подачи) ответвляется через фильтры тонкой очистки в полость электродвигателя, где циркулирует через зазоры подшипников, обеспечивая их смазку и охлаждение ротора, после чего возвращается на вход насосной части через специальные дренажные каналы.

Расчетный ресурс насоса до первого капитального ремонта составляет 200 тыс. часов, а общий срок службы – 60 лет, что соответствует проектного сроку эксплуатации энергоблока [4].

Заключение

Главный циркуляционный насос ГЦНА-1391 – это сердце первого контура Белорусской АЭС, и наше исследование подтверждает его высочайшую надежность. Конструкция насоса полностью герметична, что исключает любые утечки радиоактивного теплоносителя. Его характеристика – прокачка 20 тысяч кубометров в час при мощности 6,5 МВт – помогает нам легко справиться с

охлаждением активной зоны реактора. Все системы насоса интегрированы в единый комплекс, где теплоноситель одновременно служит и охладителем, и смазкой. ГЦНА-1391 – именно то оборудование, которое делает Белорусскую АЭС современным и безопасным объектом, соответствующим всем международным стандартам.

Литература

1. Главные циркуляционные насосы : [сайт]. – URL: <https://studfile.net/preview/8923243/page:4/> (дата обращения: 09.10.2025).
2. Главные циркуляционные насосы АЭС / Под ред. Ф. М. Митенкова. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 113 с.
3. Атомные электрические станции с реактором ВВЭР-1000 / Под ред. Ю. М. Семченкова. – М. : ИздАТ, 2005. – 276 с.
4. Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок (ПНАЭ Г-7-002-86). – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 351 с.