



## Ядерная энергия, человек и окружающая среда

### 50 ЛЕТ СО ДНЯ ПУСКА РЕАКТОРА БН-350

16 июля исполнилось 50 лет со дня пуска первого в СССР энергетического реактора на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем (БН-350) на АЭС в г. Шевченко Казахской ССР (ныне г. Актау, Республика Казахстан) на берегу Каспийского моря.

АЭС с реактором БН-350 начала строиться в 1964 г., энергетический пуск реактора осуществлен в 1973 г. Тепловая мощность 1000 МВт, электрическая — 350 МВт.

В процессе эксплуатации реактора были выполнены многочисленные материаловедческие исследования: изучались различные виды топлива и совместимость его с конструкционными материалами.

БН-350 решал не только задачу практического освоения новых ядерных технологий, но и прикладные задачи для народного хозяйства, в том числе и опреснение морской воды. Примерно треть вырабатываемой на АЭС электроэнергии уходила на снабжение единственной в то время в мире атомной опреснительной установки производительностью 120 000 куб. метров воды в сутки (город не имел природных источников пресной воды).

В марте 1997 г. было принято решение о прекращении эксплуатации АЭС в г. Шевченко, и в 1998 г. станция была остановлена. Одной из причин остановки стало открытие под Актау больших скоплений пресной воды, и необходимость в опреснении морской воды отпала.

БН-350 сыграл огромную роль в развитии отечественной атомной энергетики. Россия продолжила разработку реакторов на быстрых нейтронах: на Белоярской АЭС в 1980 г. введен в эксплуатацию блок № 3 с реактором БН-600, а в декабре 2015 г. выдал первый электрический ток блок № 4 с реактором БН-800. Сейчас уже проектируется БН-1200. Глава Росатома А.Е. Лихачев подтвердил строительство БН-1200М на площадке Белоярской АЭС (блок № 5). По сравнению с БН-600 и БН-800 новый энергоблок будет иметь более высокие коэффициенты полезного действия и использования установленной мощности, более простую систему перегрузки топлива и больший расчетный срок службы — 60 лет с возможностью продления до 80 лет. Его планируют ввести в строй в 2035 году.

### СРОК ЭКСПЛУАТАЦИИ БН-600 ПРОДЛЯЕТСЯ ДО 2040 г.

По сообщению Управления информации и общественных связей Белоярской АЭС (3 июля 2023 г.) в ходе предстоящего в августе очередного планово-предупредительного ремонта будут выполнены заключительные работы по продлению срока эксплуатации энергоблока № 3 с реактором БН-600 до 2040 г.

Энергоблок № 3 был впервые синхронизирован с сетью 8 апреля 1980 г., проработал надежно и безаварийно проектный срок эксплуатации — 30 лет.

# НОВОСТИ

После глобальной модернизации в 2010 г. срок эксплуатации был продлен до апреля 2020 г. с правом последующего продления до 2025—2030 гг. В ходе модернизации электрическая мощность блока возросла с 600 до 625 МВт за счет удлинения лопаток турбин. Начиная с 2020 года, в рамках продления срока эксплуатации, были модернизированы системы электроснабжения и дизель-генераторные установки; заменены восемь испарительных и один пароперегревательный модуль парогенератора, завершена реконструкция двух циркуляционных насосов.

В ходе реализуемой на энергоблоке № 3 с 2010 г. масштабной программы модернизации все мероприятия, направленные на повышение надежности, в основном, уже выполнены. Теперь акцент будет сделан на обновление оборудования, выработавшего свой ресурс. Наиболее крупные обследования будут затрагивать оборудование, закрепленное за реакторным, турбинным, электрическим цехами, цехом тепловой автоматики и измерения.

По словам директора Белоярской АЭС И. Сидорова «продление срока эксплуатации энергоблока с реактором БН-600 до 2040 г. позволит безопасно выработать дополнительно около 60 млрд кВт·ч электроэнергии».

## **В ПАКИСТАНЕ НАЧАЛОСЬ СТРОИТЕЛЬСТВО НОВОГО ЯДЕРНОГО ЭНЕРГОБЛОКА**

20 июня с.г. в Исламабаде (Пакистан) был подписан меморандум о взаимопонимании относительно разработки проекта сооружения нового ядерного энергоблока стоимостью 4,8 млрд долларов США, согласно которому Китайская национальная ядерная корпорация (CNNC) построит блок № 5 на площадке АЭС Chashma («Чашма») в составе которой будет реактор HPR-1000 (Hualong One).

17 июля на АЭС Chashma в провинции Пенджаб прошла церемония закладки «первого камня» строящегося энергоблока № 5, в которой принял участие премьер-министр Пакистана Шехбаз Шариф.

Первоначально планировалось, что строительство начнется в 2021 г., согласно ноябрьскому соглашению 2017 г между пакистанской Комиссией по атомной энергии (РАЕС) и CNNC, однако при очередной смене власти проект был отложен, и только благодаря усилиям Ш. Шарифа, занявшего пост премьер-министра в 2022 г., проект был возобновлен.

Китай в настоящее время — единственное государство, продающее Пакистану ядерные технологии. Пакистан не является участником Договора о нераспространении ядерного оружия, что существенно осложняет его международное сотрудничество в ядерной области. Китай и Пакистан поддерживают прочные партнерские отношения в области ядерной энергетики с тех пор, как две страны в 1986 г. подписали соглашение о передаче гражданских ядерных технологий. Новый энергоблок будет являться седьмым энергоблоком, построенным Китаем в Пакистане, и третьим, основанным на технологии HPR-1000.

На АЭС Chashma уже эксплуатируются четыре блока с китайскими реакторами CNP-300. Строительство блока № 1 этой станции началось в 1993 г., блока № 2 — в 2005 г. Блоки были подсоединены к электросети в июне 2000 г. и марте 2011 г. соответственно. Основная часть станции спроектирована Шанхайским научно-исследовательским и проектным институтом ядерной энергетики (SNERDI) на основе китайского блока Qinshan-1. В апреле 2009 г. подписан контракт на строительство блоков № 3 и № 4, вступивших в строй в октябре 2016 и июне 2017 г. соответственно.

Плановые сроки строительства блока № 5 составляют 7—8 лет, возможно (по словам Ш. Шарифа) завершение его и в более ранний период.

# НОВОСТИ

На другой пакистанской АЭС — АЭС Karachi (ее называют также Kanupp) блоки № 2 и № 3 имеют в своем составе реакторы Hualong One. Их строительство началось в 2015 г. и 2016 г. соответственно, подключение к электросети — в марте 2021 г. и марте 2022 г.

## НОВОСТИ ИЗ ИНДИИ

Согласно данным базы PRIS (июль 2023 г.) в Индии статус действующего ядерного энергоблока имеют 19 блоков общей мощностью 6290 МВт(э) нетто; 4 блока общей мощностью 595 МВт(э) нетто имеют статус «suspended operation» («приостановленный») и 8 блоков общей мощностью 6028 МВт(э) нетто находятся в стадии строительства.

Доля ядерного электричества в общем национальном производстве составляет 3,1%. Небольшой вклад связан со строительством тяжеловодных реакторов (PHWR) собственной конструкции мощностью 202 МВт(э) нетто (14 из 19 действующих). Ядерно-энергетическая программа Индии долгое время осуществлялась без зарубежного топлива и технической помощи со стороны других стран, поскольку Индия не является участником Договора о нераспространении ядерного оружия из-за своей оружейной программы. Возможности для закупки реакторов и топлива за рубежом появились только после заключения соглашения с Группой ядерных поставщиков в сентябре 2008 г., отменившей запрет на торговлю с Индией в ядерной сфере.

- 30 июня 2023 г. началась коммерческая эксплуатация блока № 3 АЭС Kakrapar в штате Гуджарат. Это — первый в стране блок с реактором PHWR мощностью 700 МВт(э) собственной разработки. Блок начал строиться в ноябре 2010 г., 10 января 2021 г. был впервые синхронизирован с сетью. В стадии строительства находятся еще три таких блока: Kakrapar-4, Rajasthan-7, -8. По состоянию на май 2023 г. готовность блока Kakrapar-4 оценивается в 96,9%. Строительство блоков Rajasthan-7, -8 также близко к завершению.

- 5 июля 2023 г. на энергоблоке № 5 АЭС Kudankulam, сооружаемой в Индии по российскому проекту АЭС-92 с реактором ВВЭР-1000, установлен первый элемент устройства локализации расплава (ловушка расплава). Она предназначена для предотвращения выхода радиоактивных веществ в окружающую среду в случае тяжелой аварии, сопровождающейся разрушением корпуса реактора.

На АЭС Kudankulam в стадии строительства находятся четыре блока с реакторами типа ВВЭР-1000 (блоки № 3—6). Строительство блоков № 3 и № 4 началось в июне и октябре 2017 г., строительство блоков № 5 и № 6 — в июне и декабре 2021 г. соответственно. Предусмотрена и IV очередь строительства (блоки № 7 и № 8), но уже с реакторами ВВЭР-1200.

- Во время визита премьер-министра Индии Нарендры Моди в Вашингтон (июнь 2023 г.) состоялась его встреча с президентом США Джо Байденом, во время которой лидеры отметили «продолжающиеся переговоры между индийской ядерной корпорацией NPCIL и Westinghouse Electric Company о строительстве шести реакторов AP-1000 в Индии, штат Андхра-Прадеш (проект «Kovvada») и «приветствовали активизацию консультаций» между Министерством энергетики США и Департаментом атомной энергии Индии по содействию компании Westinghouse а разработке технико-экономического предложения для этого проекта. Завершить переговоры по проекту компании Westinghouse и NPCIL намечались еще в июне 2017 г., но договорные соглашения так и не были заключены. Во время встречи Дж. Байден и Н. Моди отметили «продолжающиеся обсуждения разработки технологий малых модульных реакторов следующего поколения в режиме сотрудничества для внутреннего рынка, а также для экспорта».

Был затронут и вопрос о вступлении Индии в Группу ядерных поставщиков (ГЯП) (ГЯП представляет собой группу стран-поставщиков ядерного оружия, которая способствует его нераспространению, контролируя экспорт материалов, оборудования и технологий, которые могут быть потенциально использованы при его производстве).

# НОВОСТИ

США подтвердили свою поддержку Индии, которая подала заявку на вступление в ГЯП еще в 2016 г., но пока безрезультатно.

- Согласно сообщению издания «The EurAsian Times» Индия (июль 2023 г.), проект строительства шестиблочной АЭС в Джайтапуре (штат Махараштра) с реакторами EPR французской компании EDF все еще находится в подвешенном состоянии. Одной из причин является вопрос о гражданской ответственности за ядерный ущерб (CLNDA), принятый парламентом Индии в 2010 г. Этот закон имеет некоторые особенности, отличающие его от международного, и вызывает несогласие поставщиков из других стран. За время его действия в Индии не было реализовано ни одного зарубежного проекта в области ядерной энергетики (реализация российского проекта АЭС Kudankulam началась до принятия CLNDA).

По словам представителей EDF, сейчас по вопросу ответственности за ядерный ущерб, который «должен быть решен до подписания любого контракта», достигнут значительный прогресс: «Индийское и французское правительства продолжают работать над тем, чтобы достичь прогресса в вопросе гражданской ответственности за ядерный ущерб для проекта АЭС «Джайтапур», и мы уверены, что сможем прийти к консенсусу по этому ключевому для любой ядерной программы вопросу», — заявил вице-президент EDF.

Согласно заявлению EDF «электростанция в Джайтапуре с установленной мощностью 9,6 ГВт станет самой мощной АЭС в мире, производя около 75 ТВт·ч в год, удовлетворяя ежегодные потребности 70 миллионов индийских домохозяйств и предотвращая выбросы примерно 80 тонн CO<sub>2</sub> в год».

## **МАЛЫЙ МОДУЛЬНЫЙ РЕАКТОР (ACP-100) В КИТАЕ**

Завершен монтаж модуля активной зоны для демонстрационной установки на основе реактора Linglong One («Линлун-1»). Модуль прошел финальную приемку и доставлен на строительную площадку АЭС Changjiang («Чанцзян») на южном острове Хайнань.

Реактор Linglong One — многоцелевой малый модульный реактор компании CNNC (Small Modular Reactor, SMR) мощностью 125 МВт(э), известный как ACP-100.

Реактор ACP-100 — ключевой проект 12-й пятилетки, разработан на основе реактора большой мощности ACP-1000 (Hualong One). Эскизный проект, начатый в 2010 г., завершен в 2014 г., базовый — в начале 2016 г.

В июле 2019 г. CNNC объявила о запуске проекта строительства демонстрационной установки с реактором ACP-100 в провинции Хайнань, и 13 июля 2021 г. официально началось ее строительство на северо-западной стороне действующей АЭС Changjiang. В проекте задействовано совместное предприятие трех основных компаний: CNNC в качестве владельца и оператора, Институт ядерной энергии Китая, как проектировщик реактора, и China Nuclear Power Engineering Group, отвечающая за строительство.

По словам CNNC, по сравнению с традиционными ядерными технологиями, «миниатюрность, модульность и интеграция» являются выдающимися характеристиками реактора Linglong One, и он будет первым в мире наземным коммерческим SMR. Реактор предназначен для производства электроэнергии (способен генерировать 1 млрд кВт·ч в год, что является достаточным для снабжения 526 тысяч домохозяйств); может использоваться для теплоснабжения и охлаждения, производства пара для промышленных предприятий, при опреснении морской воды и других целей. Ожидаемый срок строительства демонстрационной установки — 58 месяцев (должна быть завершена в 2026 г.). К концу 2026 г. планируется также ввести в коммерческую эксплуатацию два строящихся на АЭС Changjiang блока с реакторами Hualong One (блоки № 3 и № 4). Первые два блока этой АЭС с реакторами CNP600 вступили в строй в ноябре 2015 г. и июне 2016 г. соответственно.

*Материал подготовила И.В. Газаринская*