



ИНФОРМАЦИОННЫЙ БЮЛЛЕТЕНЬ

№ 1
2013

СЕРИЯ: АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

ВВОД ЭНЕРГОБЛОКА АЭС В ЭКСПЛУАТАЦИЮ

Ввод в эксплуатацию – заключительный и один из важнейших этапов сооружения новых энергоблоков АЭС, во время которого начинают функционировать и проверяться на соответствие проекту системы и оборудование энергоблока. Процесс ввода в эксплуатацию энергоблоков АЭС состоит из нескольких этапов.

Основные этапы ввода энергоблока в эксплуатацию

Подготовительный этап. Начинается с момента утверждения проекта энергоблока, так как надежность оборудования энергоблока закладывается при проектировании и конструировании, реализуется при изготовлении, монтаже, наладке и расходуется при эксплуатации.

Предпусковые наладочные работы (ПНР). На этом этапе проводятся испытания и опробование оборудования, испытания защитной оболочки и герметичного ограждения, гидравлические испытания и циркуляционная промывка, ревизия основного оборудования. Начинается этап с принятия напряжения на системе энергоснабжения энергоблока по проектной схеме и заканчивается готовностью энергоблока к физическому пуску.

В период проведения ПНР и функциональных испытаний систем и оборудования осуществляется сбор и документирование базовых предэксплуатационных данных, характеризующих состояние оборудования, трубопроводов и конструкционных материалов, которые будут использоваться в качестве реперных точек во время всего периода эксплуатации АЭС, а также для оценки процесса старения материалов и оборудования. Пусконаладочные работы – итоговый этап сооружения АЭС, обеспечивающий основу безопасности ее дальнейшей эксплуатации.

Пусконаладочные работы, как правило, выполняют специализированные инжиниринговые организации. Этот этап важен для подготовки к будущей эксплуатации не только оборудования и систем, но и эксплуатационного персонала. Эксплуатационный персонал принимает активное и непосредственное участие в проведении наладочных работ и испытаний на всех стадиях ПНР. Это позволяет персоналу лучше и глубже узнать устройство АЭС и изучить на практике схемы взаимодействия разных систем и оборудования станции.

Физический пуск. Под физпуском реактора понимается вывод реактора на минимально контролируемый уровень мощности (МКУ) и проведение необходимых физических экспериментов по программе физпуска. Пуск реактора осуществляется при непрерывном контроле измерительной аппаратурой нейтронной мощности реактора и скорости его разгона. Минимально контролируемым уровнем считается такое значение нейтронной мощности, которое фиксируется штатной аппаратурой контроля.

Программа физпуска включает: загрузку штатной активной зоны свежим топливом, разогрев реактора в подкритическом состоянии за счет тепла работающих главных

циркуляционных насосных агрегатов (до температуры теплоносителя первого контура ~ 280°C), вывод реактора в критическое состояние за счет снижения концентрации борной кислоты в теплоносителе и извлечения из активной зоны поглощающих стержней системы управления и защиты (кроме рабочей группы), а затем – на минимально контролируемый уровень мощности. Выход реактора на МКУ означает, что началась управляемая цепная реакция деления.

На мощности, составляющей 10^{-5} – $10^{-2}\%$ номинальной, проводится основная часть физических экспериментов, предусмотренных программой физпуска для определения и проверки нейтронно-физических характеристик реактора, в том числе эффективности органов регулирования, коэффициентов реактивности, запаса реактивности и подкритичности реактора при полностью введенных поглотителях нейтронов, эффективности действия аварийной защиты и др. Знание с высокой точностью нейтронно-физических характеристик активной зоны необходимо для безопасности первого пуска ядерного реактора и последующей его эксплуатации.

Выход на минимально контролируемый уровень мощности реактора с активной зоной, полностью загруженной свежим необлученным топливом, – ответственный с точки зрения ядерной опасности момент. В такой активной зоне источником нейтронов является спонтанное деление ядер урана и космическое излучение. Так как число этих нейтронов невелико, контроль над пуском новой активной зоны реактора усложняется. В этом случае при пуске реактора существует вероятность неконтролируемого разгона реактора при таких значениях плотности нейтронного потока, которые не регистрируются пусковыми ионизационными камерами (пусковая авария). Поэтому при первоначальных пусках реакторов иногда используются дополнительные источники нейтронов.

Последующие пуски реактора не вызывают таких трудностей, как первоначальный, так как после хотя бы однократного выхода нового реактора на МКУ накапливаются продукты деления, приводящие к появлению в самом реакторе мощных источников нейтронов.

Энергетический пуск заключается в выводе реактора с уровня мощности физического пуска до уровня, достаточного для пуска турбины, затем вывод на промежуточные уровни мощности, стабилизации работы на этих уровнях, проведении необходимых проверок и испытаний оборудования и систем.

Энергетический пуск реактора, исходя из соображений безопасности, проводится последовательно в несколько этапов. Первый этап осуществляется на 1-10%, а заключительный этап – на 55-100% номинальной мощности. Количество этапов и задачи каждого этапа определяются в конкретной программе энергетического пуска АЭС.

Опытно-промышленная эксплуатация. В соответствии с нормативными документами установлен двухстадийный порядок приема в эксплуатацию: опытная и промышленная эксплуатация.

На первой стадии проводится сдача энергоблока в опытную эксплуатацию, которая подразумевает достижение положительного результата комплексного опробования оборудования и систем в течение 72 ч устойчивой работы на уровне тепловой мощности не менее 50% номинальной. Затем при положительных результатах 15-суточных гарантийных испытаний при работе энергоблока на номинальной мощности, поддержании проектных параметров и освоении всех проектных режимов энергоблок сдается в промышленную эксплуатацию. Опытная эксплуатация энергоблока осуществляется в течение времени, необходимого на освоение проектной мощности и проведения в полном объеме испытаний по программе энергетического пуска.

Согласно нормам и правилам по безопасности АЭС предпусковые наладочные работы, физический и энергетический пуски и освоение мощности до номинальной величины должны подтвердить, что энергоблок АЭС в целом, а также системы и элементы, важные для безопасности, выполнены и функционируют в соответствии с проектом, выявленные недостатки устранены.

Требования к последовательности и объему предпусковых наладочных работ, физического, энергетического пусков и приемочные критерии для вводимых в эксплуатацию оборудования и систем АЭС устанавливаются в проекте станции.

Ввод энергоблока в эксплуатацию требует привлечения высококвалифицированного персонала по всем направлениям работ, начиная от специалистов по системам и оборудованию реакторного и турбинного отделений, специалистов-электриков и специалистов по АСУ ТП до специалистов – физиков и технологов, выполняющих измерения нейтронно-физических характеристик активной зоны, определение теплогидравлических и динамических характеристик реакторной установки и энергоблока в целом.

Продолжительность работ по вводу энергоблока АЭС в эксплуатацию

Продолжительность работ по вводу энергоблока АЭС в эксплуатацию является важным показателем, напрямую влияющим на финансовую часть проекта.

Она определена нормативным графиком, который устанавливает «машинное» время, необходимое для выполнения собственно пусконаладочных работ и испытаний. Типовой график продолжительности работ по вводу в эксплуатацию энергоблоков с ВВЭР-1000 выглядит следующим образом.

Типовой график продолжительности работ по вводу в эксплуатацию энергоблоков с ВВЭР-1000



(ИОО – испытание и опробование оборудования, СГО – испытание системы герметичного ограждения, Ги и ЦП – гидравлические испытания и циркуляционная промывка, ГО РУ – горячая обкатка реакторной установки, ФП – физпуск, ЭП – энергопуск, ОПЭ – опытно-промышленная эксплуатация)

Нормативный график не учитывает риски увеличения продолжительности работ из-за задержек, связанных с незавершенностью строительно-монтажных работ в необходимые сроки, с выявлением и устранением несоответствий по проекту, по оборудованию, несоответствий по качеству выполненных работ и др. По этим причинам реальные сроки выполнения работ по вводу энергоблока в эксплуатацию, как правило, превышают нормативные.

Фактическая продолжительность работ по вводу в эксплуатацию энергоблоков АЭС в значительной степени определяется степенью реализации рисков увеличения сроков в реальном процессе по сравнению с нормативами. При этом риски срыва запланированных сроков проведения работ можно разделить на два типа:

риски, которые можно экспертно оценить исходя из опыта пуска референтных энергоблоков (детерминированные риски) и которыми можно управлять, например, неготовность проекта, непоставка оборудования, неготовность пусконаладочной документации (программ, инструкций по эксплуатации, графиков), недостатки финансирования, дополнительные (непредусмотренные) работы;

риски, которые связаны с разработкой оборудования, проектированием и сооружением энергоблока и выявляемые только при проведении испытаний (вероятностные риски) и возможность управления которыми сильно ограничена их скрытым характером – неисправности оборудования (дефекты и отказы), недостатки конструкции и проекта

(скрытые, выявляемые только при испытаниях), ошибки персонала при выполнении работ («человеческий фактор») и др.

Оптимизация продолжительности и затрат на ввод энергоблоков в эксплуатацию, напрямую влияющих на финансовую часть проекта АЭС, является многоплановой научно-технической проблемой. На сокращение сроков ввода в эксплуатацию энергоблоков АЭС и приближение этих сроков к типовому графику, наряду с обеспечением качества, надежности и безопасности работ, направляются значительные усилия соответствующих организаций и специалистов.

С этой целью уже на стадии разработки проекта начинается подготовительный этап ввода в эксплуатацию: инжиниринговые пусконаладочные организации выполняют анализ проекта АЭС на предмет выявления несоответствий, влияющих на работоспособность оборудования и систем и на выполнение ими проектных функций; анализ приемлемости принятых проектных решений по технологическим схемам, выбранному оборудованию, компоновке оборудования; персонал этих организаций участвует в заводских сдаточных испытаниях на заводах-изготовителях оборудования и др.

В энергоблоках АЭС нового поколения (АЭС-2006, ВВЭР ТОИ) будет больше оборудования и различных систем по сравнению с эксплуатируемыми блоками, что приведет к увеличению физического объема работ при вводе в эксплуатацию. Оптимизация продолжительности и затрат на ввод в эксплуатацию этих энергоблоков, по крайней мере максимальное приближение сроков ввода к типовому графику для энергоблоков предыдущего поколения, является одной из задач при разработке проектов АЭС нового поколения.

Генеральным подрядчиком работ по вводу в строй энергоблоков атомных станций, сооруженных по российским проектам за рубежом, в рамках деятельности Государственной корпорации «Росатом» выступает инжиниринговая организация ОАО «Атомтехэнерго».

Кроме выполнения собственно пусконаладочных работ, испытаний и тестирования систем и оборудования, ОАО «Атомтехэнерго» организует и управляет процессом ввода энергоблока в эксплуатацию во взаимодействии с «Росатомом», ОАО «Концерном Росэнергоатом», генподрядчиком по сооружению энергоблока, генпроектировщиком, генконструктором реакторной установки, научным руководителем, с поставщиками и изготовителями оборудования и с другими организациями.

Источники:

1. Материалы «АТОМЭКСПО 2012», 4-6 июня 2012 г., Москва
2. Острейковский В.А. Эксплуатация атомных станций / Острейковский: Учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1999. – 928 с.
3. Овчинников Ф.Я. Эксплуатационные режимы водо-водяных энергетических реакторов / Ф.Я. Овчинников, В.В. Семенов – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 359 с.
4. Nuclear.Ru

Материал подготовили: Брылева В.А., Войтецкая Е.Ф., Нарейко Л.М.

Адреса для контактов:

ГНУ «ОИЭЯИ – Сосны» НАН Беларуси, 220109, Минск, ул. академика А.К. Красина, 99
тел.: 299-47-61, 299-45-56, факс: 299-43-55, Web-site: <http://www.sosny.bas-net.by>
E-mail: valentina.bryliova@yandex.by

Для получения данного информационного бюллетеня просим подать заявку в электронном виде с указанием своего электронного адреса

©При перепечатке ссылка обязательна

По заказу Министерства энергетики Республики Беларусь