

Текущий статус и развитие ядерной энергетики в Индии

1. Ядерно-энергетическая программа Индии

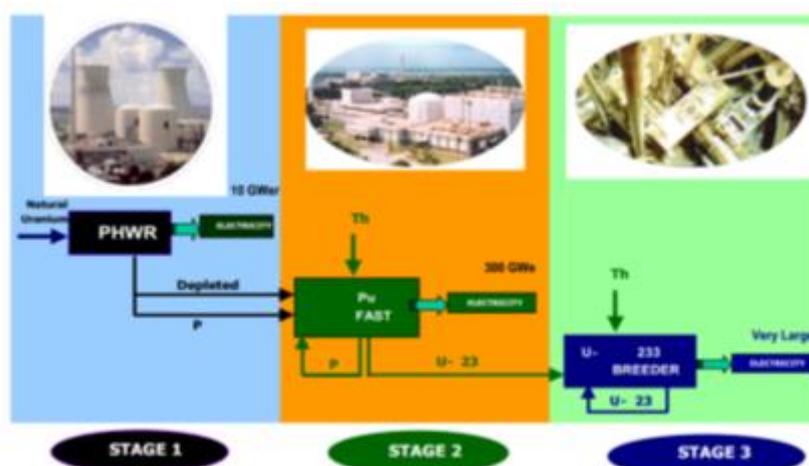
Ядерно-энергетическая программа Индии состоит из уникальной трехэтапной последовательности с использованием сопутствующих технологий для достижения оптимального использования природных ядерных ресурсов (это – ограниченные ресурсы урана и огромные запасы тория). Данная трехэтапная программа имеет в основе замкнутый топливный цикл, в котором отработанное топливо одного этапа перерабатывается и становится топливом в следующем этапе. Таким образом, замкнутый топливный цикл многократно преумножает энергетический потенциал топлива и в значительной степени снижает количество вырабатываемых отходов.

Первый этап включает в себя работу тяжеловодных реакторов (PHWR) на натуральном урановом топливе. На этом этапе уран-238, содержащийся в природном уране, преобразуется в делящийся плутоний-239.

Второй этап включает в себя работу реакторов-размножителей на быстрых нейтронах (FBR) на МОКС-топливе из урана-238 и плутония-239, восстановленного путем переработки отработанного топлива первого этапа. В реакторах FBR плутоний-239 подвергается делению, в результате чего генерируется энергия, а из урана-238 производится плутоний-239. Подобным образом FBR генерируют энергию и вырабатывают топливо, и потому называются размножителями. Кроме того, неделящийся торий-232, по мировым запасам которого Индия занимает третье место в мире, преобразуется в материал деления – уран-233 путем трансмутации в реакторах-размножителях.

В ходе третьего этапа должен будет использоваться реактор на уране-233 в целях преобразования неделящегося тория-232 в уран-233, что будет означать замыкание цикла.

Трехэтапная ядерно-энергетическая программа



2. АЭС в эксплуатации – Текущее состояние

В настоящий момент в Индии эксплуатируется 19 энергоблоков АЭС установленной мощностью 4680 МВтэ. Их список приведен в Таблице 1.

Таблица 1: АЭС Индии в эксплуатации

Станция	Блок	Тип	Мощность (МВтэ)	Дата ввода в коммерческую эксплуатацию
АЭС Тарапур (TAPS), шт. Махараштра	1	BWR	160	Октябрь 28, 1969 г.
	2	BWR	160	Октябрь 28, 1969 г.
	3	PHWR	540	Август 18, 2006 г.
	4	PHWR	540	Сентябрь 12, 2005 г.
АЭС Раджастан (RAPS), шт. Раджастан	1	PHWR	----	Декабрь 16, 1973 г. (топливо выгружено)
	2	PHWR	200	Апрель 1, 1981 г.
	3	PHWR	220	Июнь 1, 2000 г.
	4	PHWR	220	Декабрь 23, 2000 г.
	5	PHWR	220	Февраль 4, 2010 г.
	6	PHWR	220	Март 31, 2010 г.
АЭС Мадрас (MAPS), шт. Тамил-Наду	1	PHWR	220	Январь 27, 1984 г.
	2	PHWR	220	Март 21, 1986 г.
АЭС Кайга (KGS), шт. Карнатака	1	PHWR	220	Ноябрь 16, 2000 г.
	2	PHWR	220	Март 16, 2000 г.
	3	PHWR	220	Май 6, 2007 г.
	4	PHWR	220	Январь 20, 2011 г.
АЭС Нарора (NAPS), шт. Уттар-Прадеш	1	PHWR	220	Январь 1, 1991 г.
	2	PHWR	220	Июль 1, 1992 г.
АЭС Какрапар (KAPS), шт. Гуджарат	1	PHWR	220	Май 6, 1993 г.
	2	PHWR	220	Сентябрь 1, 1995 г.

Первой АЭС в стране стала TAPS (блоки №1 и №2) на основе кипящих реакторов (BWR), построенная компанией General Electric (США), и введенная в эксплуатацию в 1969 г. По окончании 30 лет эксплуатации в отношении этих энергоблоков была проведена оценка безопасности с тем, чтобы продлить условия для долгосрочной эксплуатации. По результатам экспертизы в 2000-2006 гг. во время остановов для перегрузки топлива отдельных блоков, а также в ходе одновременных длительных остановов обоих блоков в период с ноября 2005 г. по январь 2006 г. был выполнен ряд усовершенствований систем безопасности.

Главной опорой индийской ядерно-энергетической программы были и остаются реакторы PHWR. Два блока по 200 МВтэ (RAPS №1 и №2) были установлены в 1970х годах в Раватбхате (шт. Раджастан) при техническом содействии компании AECL (Канада).

Позднее в 1980х годах два блока по 220 МВт с реакторами PHWR (MAPS №1 и №2) были построены в Калпаккаме (шт. Тамил-Наду) собственными силами. На блоке №2 АЭС RAPS и блоках №1 и №2 АЭС MAPS было выполнено несколько усовершенствований систем безопасности в ходе массовой замены каналов охлаждения и/или питательного трубопровода.

Затем в Индии был разработан стандартизованный проект реактора PHWR на 220 МВт. Этот проект вобрал в себя технологии по последнему слову техники, как то: цельный щит каландра и днища, две независимых быстродействующих системы останова, САОЗ высокого давления, мокрая шахта каландра и двойная оболочка с бассейном пассивного пароподавления. Было построено четыре реактора данного стандартизованного проекта: два в Нароре (шт. Уттар-Прадеш) – блоки АЭС NAPS №1 и №2 и еще два в Какрапаре (шт. Гуджарат) – блоки АЭС KAPS №1 и №2. Данные станции начали эксплуатироваться в 1990х. Затем было построено еще 8 блоков PHWR по 220 МВт по данному стандартизованному проекту, четыре из них в Кайге (шт. Карнатака) блоки АЭС KGS №№1-4 и в Раватбхате (шт. Раджастан) – блоки АЭС RAPS №№ 3-6. Помимо предусмотренных обычным проектом реактора PHWR 220 МВт, последние имеют более компактную площадку и более совершенные системы безопасности и контейнента.

В 1990х Индия начала проектирование и разработку реактора PHWR на 540 МВт. Два реактора данного типа были введены в эксплуатацию в 2005-2006 гг. в Тарапуре (блоки АЭС TAPS №3 и №4).

3. Ядерно-энергетические проекты – Текущее состояние

Программа текущих, запланированных и будущих ядерно-энергетических проектов (ЯЭП) включает национальные PHWR (700 МВт), FBR и импортируемые легководные реакторы LWR. В настоящий момент в Индии реализуется 7 ЯЭП, находящихся на разных этапах сооружения с расчетной мощностью в 5300 МВт. Кроме того, с помощью нескольких новых ЯЭП планируется значительно расширить ядерно-энергетическую базу по сравнению с текущей. Список текущих ЯЭП приведен в таблице 2.

Таблица 2: Текущие ядерно-энергетические проекты в Индии

Проект	Блок	Тип	Мощность (МВт)	Статус
АЭС Куданкулам (KK NPP), шт. Тамил-Наду	1	ВВЭР	1000	Вводится в эксплуатацию
	2	ВВЭР	1000	Завершается сооружение
АЭС Какрапар (KAPP), шт. Гуджарат	3	PHWR	700	Начато гражданское строительство
	4	PHWR	700	Начато гражданское строительство
АЭС Раджастан (KAPP), шт. Раджастан	7	PHWR	700	Начато гражданское строительство

	8	PHWR	700	Начато гражданское строительство
Прототип реактора-размножителя на быстрых нейтронах (PFBR), шт. Тамил-Наду	1	FBR	500	Завершается сооружение

Ниже приводится краткое описание текущих проектов.

2 блока ВВЭР по 1000 МВтэ

Для более быстрого наращивания ядерно-энергетического потенциала дополнительно были введены мощности по импортному проекту параллельно с национальной трехэтапной программой. Индия, совместно с Российской Федерацией, начала строительство двух блоков ВВЭР по 1000 МВтэ каждый на площадке Куданкулам (блоки КК №1 и №2) в шт. Тамил-Наду. Эти реакторы реализуют подход четырехкратного резервирования в целях надежного достижения функции по безопасности. Помимо этого, в данных реакторах внедряется много прогрессивных мер обеспечения безопасности, как пассивных, так и активных.

Для блока АЭС КК №1 деятельность по вводу в эксплуатацию находится на заключительных этапах, а сооружение блока №2 почти завершено. После удовлетворительного рассмотрения (экспертизы) безопасности и получения разрешений на ведение подэтапной деятельности, на блоке №1 АЭС КК была выполнена первоначальная загрузка топлива. Физпуск блока намечен на июль 2013 г. На блоке №2 АЭС КК в данный момент ведутся работы по подготовке к вводу в эксплуатацию.

Прототип реактора-размножителя на быстрых нейтронах (PFBR) на 500 МВтэ

Прототип реактора-размножителя на быстрых нейтронах (PFBR) на 500 МВтэ находится на последних этапах сооружения на площадке в Калпаккаме, шт. Тамил-Наду. Проект и технологии строительства PFBR разрабатывались в Центре атомных исследований им. Индиры Ганди (IGCAR). Строящийся PFBR станет первым в серии будущих реакторов-размножителей. Работы по сооружению почти завершены, и ожидается, что скоро начнутся работы по подготовке к вводу в эксплуатацию.

4 блока тяжеловодных реакторов PHWR по 700 МВтэ

Дальнейшим развитием проекта PHWR на 540 МВтэ стал разработанный в Индии реактор мощностью 700 МВтэ с ограниченным кипением на выходе каналов теплоносителя. Четыре блока PHWR мощностью 700 МВтэ каждый находятся в стадии сооружения: по одному блоку на АЭС Какрапар и Гуджарат, и еще два на площадке АЭС Раватбхата, шт. Раджастан.

4. Процесс регулирования

AERB разработал устойчивую процедуру рассмотрения (экспертизы) безопасности и выдачи разрешений на проведение различных этапов установки ядерных и радиационных объектов в Индии в соответствии с наилучшими образцами мировой практики и руководствами МАГАТЭ. Большая часть нормативных документов по обеспечению безопасности AERB выпущены в виде стандартов по безопасности и состоят из норм и руководств по безопасности. AERB постоянно осуществляет разработку и актуализацию нормативных документов по безопасности. Нормативные документы по безопасности в Индии разрабатываются с учетом концепций, требований и методологий по безопасности, выведенных из норм безопасности МАГАТЭ и других международных норм ядерного регулирования, которые в совокупности представляют собой огромный пласт опыта в области проектирования, строительства и эксплуатации АЭС.

Процедура получения разрешения для АЭС основана на зарекомендовавшем себя многоуровневом процессе рассмотрения (экспертизы) безопасности в соответствии с «Нормами и руководствами по безопасности» AERB. Основные этапы согласования для АЭС это: размещение, строительство, ввод в эксплуатацию, эксплуатация и вывод из эксплуатации. В зависимости от сложности для каждого этапа возможно введение подэтапов.

На каждом этапе перед выдачей разрешения проводится комплексное многоуровневое рассмотрение (экспертиза) комитетами по безопасности. На уровне 1 рассмотрение безопасности по каждой отдельной области проводится группой экспертов в данной области. На уровне 2 консультативные комитеты проводят рассмотрение безопасности направленных оператором (энергокомпанией) документов и анализируют отчеты экспертных групп, полученные на уровне 1. Заявление, направленное оператором (энергокомпанией), а также рекомендации, сформированные консультативными комитетами, затем рассматриваются правлением AERB, а разрешение выдается от имени его Руководителя.

.....