Этапы останова реактора

В отличие от всех известных тепловых двигателей, реактор никогда не останавливается полностью, т.е. и после остановки в нем присутствует некоторый нейтронный поток, обусловленный предысторией работы реактора па мощности. Считается, что реактор остановлен, когда плотность нейтронного потока уменьшается до уровня, соответствующего интенсивности потока фотонейтронов и нейтронов спонтанного деления, а тепловая мощность соответствует остаточным тепловыделениям за счет бета- и гамма-излучения осколков деления.

Различают аварийную и плановую остановки реактора.

Под аварийной остановкой понимают его остановку при срабатывании автоматической аварийной защиты, а также при дистанционном или ручном взведении стержней аварийной защиты в случае возникновения условий, которые могут привести к повреждениям реактора или других элементов энергетической установки.

Обычно в судовых ядерных реакторах аварийная защита срабатывает по сигналам несанкционированных опасных изменений ряда параметров: при существенном превышении мощности реактора над заданной, снижении расхода теплоносителя, повышении температуры и давления в первом контуре, увеличении мощности с недопустимо малым периодом, снижении давления в первом контуре, повышении давления пара второго контура и др.

Процесс изменения плотности потока нейтронов после появления аварийного сигнала или нажатия кнопки АЗ определяется временем запаздывания системы АЗ, физическим весом и скоростью ввода поглотителей, видом используемого ядерного топлива.

В реальных условиях переходный процесс начинается в зависимости от конструкции реактора через 0,1—0,4 с после сброса стержней АЗ. Далее происходит резкое снижение мощности

Этот процесс обусловлен уменьшением плотности мгновенных нейтронов, поэтому практически безынерционен.

Последнее обстоятельство предопределяет практически безынерционное снижение температуры па выходе из активной зоны. Поэтому, если срабатывание аварийной защиты произошло по сигналам, не связанным с увеличением давления в первом контуре, необходимо принять меры к снижению скорости расхолаживания реактора в целях уменьшения температурных напряжений в конструкциях реактора и первого контура. Для этого следует уменьшить расход во втором контуре до 2—5 % номинального, а также снизить расход в первом контуре при наличии такой возможности. Если же причиной аварийной остановки стало превышение допустимого давления в первом контуре, то вначале необходимо несколько расхолодить реактор, чтобы снизить давление до нормального, и только после этого ограничить расход во втором и первом контурах.

После срабатывания аварийной защиты проводится анализ его причин. Если па устранение причин срабатывания необходимо длительное время, все поглотители опускаются в крайнее нижнее положение, а реактор расхолаживается либо поддерживается в разогретом состоянии по мере необходимости. Если причина аварии устранима в короткие сроки или сигнал оказался ложным, приступают к пуску реактора. Для этого необходимо остановить опускающуюся компенсирующую группу, взвести стержни АЗ, поднять в рабочее положение органы автоматического регулирования, а затем вывести реактор в критическое состояние подъемом КГ. Следует отметить, что остановка (подхват) КГ разрешается лишь после того, как ею будет введена отрицательная реактивность, превышающая по абсолютному значению реактивность, внесенную стержнями АЗ и АР, а также высвобожденную при расхолаживании за счет отрицательного температурного эффекта. Если подхватить КГ раньше, то при дальнейшем выводе реактора в критическое состояние подъемом КГ возможно новое срабатывание аварийной защиты по сигналам недопустимого периода разгона или превышения мощности над заданной.

Кроме основных предусматриваются резервные средства аварийной остановки реактора на случай выхода из строя первых. Они используются лишь в крайних случаях, когда создаются условия для самопроизвольного разгона реактора вследствие расхолаживания и разотравления. Наиболее распространенными резервными средствами аварийной остановки являются:

введение в активную зону реактора химических соединений с большим сечением поглощения нейтронов, например, борной кислоты; введение поглощающего раствора в реактор — крайняя мера, так как снова ввести реактор в действие можно только после полной замены теплоносителя, сорбентов ионообменных фильтров и промывки коммуникаций первого контура;

введение борной дроби или химических соединений в гильзы органов регулирования системы управления и защиты; выпуск теплоносителя-замедлителя из реактора и др.

Плановая остановка начинается со снижения мощности реактора до уровня, обеспечивающего бесперебойную работу вспомогательных механизмов. При этом расход в первом контуре уменьшается до минимального, а если конструктивно предусмотрена естественная циркуляция теплоносителя (ЕЦТ) — до уровня расхода ЕЦТ. После вывода из действия паротурбинной установки мощность реактора снижается до 3—5 % номинальной. Одновременно с этим уменьшается расход во втором контуре в соответствии с условием поддержания такого соотношения его с мощностью реактора, при котором обеспечивается заданная постоянная скорость расхолаживания. Обычно скорость расхолаживания равна скорости разогрева.

Время работы реактора на различных мощностях при выводе из действия энергетической установки определяется для каждого типа установки и зависит от продолжительности осушения турбин, промывки парогенераторов и др. После окончания указанных процедур фиксируются все параметры, необходимые для последующего расчета пускового положения КГ.

Последней операцией плановой остановки является ввод в активную зону всех поглотителей: КГ, стержней аварийной защиты и автоматического регулирования. После этого начинается расхолаживание реактора.

Останов реактора осуществляется с помощью системы управления и защиты. На ВВЭР система управления и аварийной защиты реакторов (СУЗ) состоит из управляемых электромеханически стержней с борным поглотителем, системы борного регулирования и системы аварийного ввода бора. Конструкция поглотителей электромеханической СУЗ и принципы действия их приводных механизмов широко освещены в литературе.  
Система аварийного ввода бора состоит из аварийных подпиточных насосов, подающих в 1-й контур раствор борной кислоты высокой концентрации, хранящейся в специальных емкостях.

По степени воздействия на мощность реактора ВВЭР-440 сигналы аварийной защиты (АЗ), поступающие от соответствующих датчиков в электронно-релейную аварийную схему (аварийную цепочку), подразделяются на четыре рода (АЗ-1 — A3-IV), причем наиболее эффективны, т. е. снижают мощность реактора с наибольшей скоростью, сигналы АЗ-1. Схема электронной аварийной цепочки объединяет в одну электронную цепь все реле от датчиков и приборов, которые могут быть источниками сигналов АЗ одного рода. Четыре рода АЗ составляют четыре аварийные цепочки. В них возникает стартовый импульс для исполнительных механизмов и схем.

При появлении сигнала АЗ-1 снимается напряжение питания силовых цепей выпрямительных устройств и преобразователей низкой частоты (ПНЧ) и все стержни СУЗ, находящиеся вверху или в промежуточном положении, движутся вниз самоходом со скоростью 20 — 30 см/с. При этом обеспечивается быстрый сброс нейтронной и тепловой мощности реактора.