

ВОЗМОЖНОСТЬ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ АВАРИЙНЫХ ПРОЦЕССОВ В АКТИВНОЙ ЗОНЕ РЕАКТОРА

Ж.С. Такибаев
НЯЦ РК

ACCIDENTS PREVENTING POSSIBILITIES IN REACTOR CORE

G.S. Takibaev
NNC RK

Аварии, связанные с нарушением нормальной работы активной зоны (АЗ) являются самыми серьезными и тяжелыми по своим последствиям. Поэтому мы сосредотачиваем свое внимание на авариях, возникающих в результате неуправляемого роста интенсивности цепных ядерных реакций деления. Такой процесс характеризуется значительным ростом реактивности и поэтому называется реактивностным нарушением нормальной работы реактора.

Многолетнее наблюдение и анализ наиболее тяжелых аварий убеждает нас в том, что реактивная авария, как правило, бывает наиболее разрушительной. Это наглядно видно на примере аварии Чернобыльской АЭС.

Суть предлагаемой работы сводится к следующему. Во-первых, необходимо из всех возможных способов регулирования работы реактора выбрать наиболее дешевый, доступный и эффективный способ быстрого воздействия на сложные процессы в активной зоне реактора. Таких способов четыре:

- 1) регулирование весьма мощным внешним потоком нейтронов, получаемых, в основном, протонным ускорителем;
- 2) регулирование работы реактора отражателями;
- 3) регулирование с помощью дозирования топлива;
- 4) регулирование с помощью поглотителей нейтронов.

Естественно, все они широко используются в реакторах. Что же касается регулирования внешним потоком нейтронов, то его применяют в исследовательских целях в подкритических реакторах.

На наш взгляд, способ быстрого введения в активную зону поглотителей наиболее приемлем для предотвращения аварии реактора, связанной с его разгоном. В настоящее время этот вопрос в каждом реакторе решается по-своему.

В работе предлагается ряд мер и способов быстрого введения поглотителей для предотвращения аварийных процессов в активной зоне реактора. Обсуждаемые в работе физико-технические устройства должны немедленно реагировать на увеличение температуры и давления, что в свою очередь является результатом внезапного роста потока нейтронов и, соответственно, мощности реактора до уровня, существенно превышающего максимально допустимый для данного реактора. Такие аварии возникают в результате несанкционированного (аварийного) ввода избыточной реактивности, обычно $\rho \geq \beta$, благодаря чему быстро повышается мощность, что обуславливает большое разрушение активной зоны и отсюда все те неприятности, которые имеют место в этих реактивностных авариях, как правило, весьма разрушительных, сильно влияющих и на другие важные узлы реактора. Мы рассматриваем несколько вариантов антиаварийных устройств – ("ААУ").

1. Наряду с обычными ТВС предлагается вводить в АЗ такую же сборку – трубку, наполненную газообразным топливом типа UF_6 , рассматривается также использование жидкого топлива. В случае возникновения аварии быстро создаются условия $T > T_0$, $p > p_0$, причем давление газа повышается вслед за повышением p и поршень, смонтированный внутри трубки, выталкивает из этой трубки порошок Gd или B в первый контур теплоносителя (в общий поток), текущего и омывающего всю АЗ с большой скоростью (>10 м/с). В этом варианте в первую очередь используется большая скорость течения теплоносителя для быстрого ввода в АЗ поглотителя нейтронов для немедленного прекращения увеличения сверх норм интенсивности цепных реакций. Все наши усилия подчинены одной цели: быстрому вводу в АЗ поглотителей нейтронов, чтобы немедленно заглушить начало роста интенсивности цепных реакций или рост потока нейтронов. Температура тепловыделяющих элементов изменяется по времени относительно этого потока с минимальным сдвигом, а температура теплоносителя запаздывает, в свою очередь, относительно изменения температуры ТВЭЛа на десятки доли секунды. Как известно, изменение температуры замедлителя и отражателя запаздывает на 10 с и более. По этой причине мы выбираем газообразное топливо UF_6 , так как оно непосредственно реагирует на изменение p как и другие ТВЭЛы. Однако, инерционность поршня, как и любого механического тела, может сильно замедлить поступление поглотителей в АЗ, поэтому предлагаются другие варианты.

II. Можно применить вместо поршня вращающийся шарнирный клапан с пружиной. Этот клапан открывается под давлением газа UF_6 или жидкости с содержанием топлива типа UF_4 и порошок сразу же поступает в АЗ. Можно осуществить две схемы: одна пассивная, которая выпускает поглотитель нейтронов под давлением, другая активная. В первом случае скорость поступления поглощающего раствора в АЗ не будет вполне достаточной, а во втором случае порошкообразный поглотитель очень активно увлекается потоком теплоносителя первого контура сразу в АЗ реактора.

III. Быстрый выпуск поглотителя можно осуществить, используя тепловое расширение твердого топлива, например, поликристаллического урана, коэффициент теплового расширения которого в интервале $675-750^\circ C$ находится в пределах от $9,6 \cdot 10^{-6}$ до $47,6 \cdot 10^{-6}$ см/см.град. За счет термического расширения перегородка между объемом, содержащим поглотитель, и пространством АЗ открывается сама по себе, когда $T > T_0$, так как в местах защелкивания двух половин перегородки края их в форме трехгранных призм отходят друг от друга и таким образом открывают перегородку. Основной идеей, положенной в основу конструкции, является использование разницы термического расширения между конструкционными материалами. Приблизительным аналогом этой конструкции служит перегородка, подталкиваемая газом UF_6 или жидким ядерным топливом при возрастании температуры АЗ над нормальным ее значением.

IV. Можно использовать в качестве перегородки между содержащей поглотитель емкостью и пространством АЗ реактора эвтектику уран-железо. Как известно, диаграмма фазового состояния системы уран-железо характеризуется присутствием U_2Fe и UFe_2 , т.е. двух интерметаллических соединений. Известно, что U_2Fe образуется при температуре $815^\circ C$ по перитектической реакции. При содержании железа 12% по весу эти соединения образуют эвтектику и плавятся при $725^\circ C$. Если указанную выше перегородку сделать из эвтектики, то при $T > 725^\circ C$ перегородка разрушится, а затем поглотители из Gd или В устремятся по трубке ТВС в АЗ. Вслед моментально прекратится увеличение потока нейтронов. Невозможно в принципе быстрее, чем этим способом, осуществить ввод поглотителей в АЗ.