Ядерный реактор

**ЯДЕРНЫЙ РЕАКТОР**, устройство, в котором осуществляется управляемая ядерная цепная реакция, сопровождаю­щаяся выделением энергии. Первый ядерный реактор построен в декабре 1942 в США под руководством Э. Ферми. В Европе пер­вый ядерный реактор пущен в декабре 1946 в Москве под руководством П. В. Курчатова. Составны­ми частями любого ядерного реактора являются: ак­тивная лона с ядерным топливом, обыч­но окружённая отражателем нейтронов, теплоноситель, система регулирования цепной реакции, радиан, защита, система дистанционного управления. Основной ха­рактеристикой ядерного реактора является его мощ­ность. Мощность в 1 Мвт соответствует цепной реакции, в которой происходит 3\*1016 актов деления в 1 сек.

В активной зоне ядерного реактора находит­ся ядерное топливо, протекает цепная реакция ядерного деления и выделяется энергия. Состояние ядерного реактора характеризуется эффективным коэффициентом Кэф размножения нейтронов или реактивностью ρ:

ρ = (Кэф - 1)/Кэф.

Если Кэф > 1, то цепная реакция нара­стает во времени, ядерный реактор находится в надкритичном состоянии и его реактив­ность ρ > 0; если Кэф < 1, то реакция затухает, реактор - подкритичен, р < 0; при Кэф = 1, р = 0 реактор находится в критическом состоянии, идёт ста­ционарный процесс и число делений по­стоянно во времени. Для инициирования цепной реакции при пуске ядерного реактора в актив­ную зону обычно вносят источник нейтро­нов (смесь Ra и Be, 252Cf и др.), хотя это и не обязательно, т. к. спонтанное деле­ние ядер урана и космические лучи дают достаточное число начальных нейтронов для развития цепной реакции при Кэф > 1.

В качестве делящегося вещества в боль­шинстве Ядерный реактор применяют 235U. Если ак­тивная зона, кроме ядерного топлива (природный или обогащённый уран), со­держит замедлитель нейтронов (графит, вода и др. вещества, содержащие лёгкие ядра), то основная часть делений происходит под дей­ствием тепловых нейтронов (тепловой реактор). В ядерном реакторе на тепловых нейтронах может быть использован природный уран, не обогащённый 235U (такими были пер­вые ядерные реакторы). Если замедлителя в активной зоне нет, то основная часть делении вызыва­ется быстрыми нейтронами с энергией ξ > 10 кэв (быстрый реактор). Воз­можны также реакторы на промежуточных нейтронах с энергией 1 - 1000 эв.

По конструкции ядерные реакторы делятся на гете­рогенные реакторы, в которых ядерное топливо распределено в активной зоне дискретно в виде блоков, между которыми находится замедлитель нейтронов; и гомогенные, реакторы, в которых ядерное топливо и замедлитель представ­ляют однородную смесь (раствор или суспензия). Блоки с ядерным топливом в гетерогенном ядерном реакторе, называются тепловыде­ляющими элементами (ТВЭЛ'ами), об­разуют правильную решётку; объём, при­ходящийся на один ТВЭЛ, называют ячейкой. По характеру использования Ядерный реактор делят­ся на энергетические реакторы и иссле­довательские реакторы. Часто один ядерный реактор выполняет несколько функций.

# Выгорание и воспроизводство ядерного топлива.

# В процессе работы ядерного реактора проис­ходит изменение состава топлива, свя­занное с накоплением в нём осколков де­ления и с образованием трансурановых элемен­тов, главным образом изотопов Pu. Влияние ос­колков деления на реактивность ядерного реактора называют отравлением (для радиоактив­ных осколков) и зашлаковыванием (для стабильных). Отравление обусловлено главным образом 135Xe, который обла­дает наибольшим сечением поглощения нейтронов (2,6\*106 барн). Период его полураспада T1/2= 9,2 ч, выход при де­лении составляет 6-7% . Основная часть 135Хе образуется в результате распада 135I (T1/2 = 6,8 ч). При отравлении Кэф изменяется на 1-3% . Большое сечение поглощения 135Xe и наличие промежуточ­ного изотопа 135I приводят к двум важным явлениям:

# к увеличению концентра­ции 135Хе и, следовательно, к уменьше­нию реактивности ядерного реактора после его оста­новки или снижения мощности («йодная яма»). Это вынуждает иметь дополни­тельный запас реактивности в органах регулирования либо делает невозмож­ным кратковременные остановки и ко­лебания мощности. Глубина и продол­жительность йодной ямы зависят от по­тока нейтронов Ф: при Ф = 5\*1013 ней­трон/см2\*сек продолжительность йодной ямы ~ 30 ч, а глубина в 2 раза превосхо­дит стационарное изменение Кэф, вызван­ное отравлением 135Хе.

# Из-за отравле­ния могут происходить пространственно-временные колебания нейтронного потока Ф, а значит — и мощности ядерного реактора. Эти ко­лебания возникают при Ф> 1013 ней­трон/см2\*сек и больших размерах ядерного реактора. Периоды колебаний ~ 10 ч.

Выгорание ядерного топлива характе­ризуют суммарной энергией, выделив­шейся в ядерном реакторе на 1 т топлива. Для ядерных реакторов работающих на естественном уране, максимальное выгорание ~ 10 Гвт\*сут/т (тяжело­водные ядерные реакторы). В ядерных реакторах со слабо обо­гащённым ураном (2 - 3% 235U) достига­ется выгорание ~ 20—30 Гвт\*cyт/т. В ядерном реакторе на быстрых нейтронах - до 100 Гвт\*сут/т. Выгорание 1 Гвт\*сут/т соответствует сгоранию 0,1% ядерного топлива.

**Управление ядерного реактора.**

Для регулирования ядерного реактора важно, что часть нейтронов при де­лении вылетает из осколков с запазды­ванием. Доля таких запаздываю­щих нейтронов невелика (0.68% для 235U, 0,22% для 239Pu). Вре­мя запаздывания Тзап от 0,2 до 55 сек. Если (Кэф - 1) ν3/ν0, то число делений в ядерном реакторе растёт (Кэф > 1) или падает (Кэф < 1), с характерным временем ~ Tз. Без запаздывающих нейтронов эти времена были бы на несколько порядков меньше, что сильно усложнило бы управление ядерным реактором.

Для управления ядерного реактора служит система управления и защиты (СУЗ). Органы СУЗ делятся на: аварийные, уменьшающие реактивность (вводящие в ядерный реактор отрицательную реактивность) при появлении аварийных сигналов; автоматические регуляторы, поддерживающие постоянным нейтронный поток Ф (а значит - и мощность); компенсирующие (компенсация отравления, выгорания, температурных эффектов). В большинстве случаев это стержни, вводимые в активную зону ядерного реактора (сверху или снизу) из веществ, сильно поглощающих нейтроны (Cd, B и др.). Их движение управляется механизмами, сра­батывающими по сигналу приборов, чув­ствительных к величине нейтронного по­тока. Для компенсации выгорания могут использоваться выгорающие поглотители, эффективность которых убывает при за­хвате ими нейтронов (Cd, В, редкозе­мельные элементы), или растворы по­глощающего вещества в замедлителе. Стабильности работы ядерного реактора способствует отрицательный температурный коэффициент реактивности (с ростом температуры ρ уменьшается). Если этот коэффициент положителен, то работа органов СУЗ суще­ственно усложняется.

Ядерный реактор оснащается системой приборов, информирующих оператора о состоянии ядерного реактора: о потоке нейтронов в разных точ­ках активной зоны, расходе и температуре теплоносителя, уровне ионизирующего излучения в различных частях ядерного реактора и в вспомогательных помещениях, о положе­нии органов СУЗ и др. Информация, получаемая с этих приборов, поступает в ЭВМ, которая может либо выдавать её оператору в обработанном виде (функции учёта), либо на основании математической обработки. Этой информации выдавать рекомендации оператору о необходимых изменениях в режиме работы ядерного реактора (машина - советчик), либо, наконец, осуществлять управление ядерного реактора без участия оператора (управляющая машина).

**Классификация ядерных реакторов.**

По назначению и мощности ядерные реакторы делятся на несколько групп:

1) экспериментальный реактор (критическая сборка), предназначенный для изучения различных физических величин, значение которых необходимо для проектирования и эксплуатации ядерных реакторов: мощность таких ядерных реакторов не превышает нескольких квт:

2) исследователь­ские реакторы, в которых потоки нейтронов и γ-квантов, генерируемые в активной зоне, используются для исследований в области ядерной физики, физики твёр­дого тела, радиационной химии, биологии, для испытания материалов, предназначенных для работы в интенсивных нейтронных по­токах (в т. ч. деталей ядерного реактора), для производства изотопов. Мощность исследовательского ядерного реактора не превосходит 100 Мвт: выделяю­щаяся энергия, как правило, не исполь­зуется. К исследовательским ядерным реакторам отно­сится импульсный реактор:

3) изотопные ядерные реакторы, в которых потоки нейтронов исполь­зуются для получения изотопов, в т. ч. Pu и 3Н для военных целей;

4) энергетические ядерные реакторы, в которых энер­гия, выделяющаяся при делении ядер, используется для выработки электроэнер­гии, теплофикации, опреснения морской воды, в силовых установках на кораблях и т. д. Мощность (тепловая) современного энер­гетического ядерного реактора достигает 3-5 Гвт.

Ядерные реакторы могут различаться также по виду ядерного топлива (естественный уран, слабо обогащённый, чистый делящийся изотоп), по его химическому составу (металлический U, UO2, UC и т. д.), по виду теплоносителя (Н2О, газ, D2O, органические жидкости, расплавленный металл), по роду замедлителя (С, Н2О, D2O, Be, BeO. гидриды метал­лов, без замедлителя). Наиболее распро­странены гетерогенные Ядерный реактор на тепловых нейтронах с замедлителями — Н2О, С, D2O и теплоносителями — Н2О, газ, D2O.