

УДК 621.311

ТИПЫ ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ. ПРИНЦИПЫ ПОЛУЧЕНИЯ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГИИ

Бартош Р.Т.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Карницкий Н.Б.

Наверное, ни для кого не секрет, что вступление в 21 век немислимо без такого источника энергии, каковым является атомное ядро. Атомная энергетика на сегодняшний день является активно развивающейся отраслью. Очевидно, что ей предназначено большое будущее, так как запасы нефти, газа, угля постепенно иссякают, а уран – достаточно распространенный элемент на Земле. В связи с этим необходимо закладывать решение проблемы безопасности (в частности, предупреждение аварий с разгоном реактора, локализацию аварии в пределах биозащиты, уменьшение радиоактивных выбросов и др.) еще в конструкцию реактора, на стадии его проектирования.

Ядерный (атомный) реактор – устройство, в активной зоне которого осуществляется контролируемая самоподдерживающаяся цепная реакция деления ядер (ЯЦР) некоторых тяжёлых элементов под действие нейтронов. Любой ядерный реактор состоит из следующих частей:

- Активная зона (центральная часть реактора, где протекает самоподдерживающаяся ЯЦР и выделяется энергия) с ядерным топливом (служит для получения энергии в ядерном реакторе, представляет собой смесь материалов, содержащих делящиеся ядра) и замедлителем нейтронов (вещество, используемое для уменьшения энергии нейтронов в ядерных реакторах; графит, тяжёлая вода);

- Отражатель нейтронов (слой вещества (графита, тяжелой воды), окружающий активную зону ядерного реактора, и служащий для уменьшения утечки нейтронов из активной зоны; позволяет уменьшить критическую массу делящегося вещества и увеличить объем мощности с единицы объема активной зоны), окружающий активную зону;

- Теплоноситель (для отвода выделяющейся энергии);
- Система регулирования цепной реакции, в том числе аварийная защита;
- Радиационная защита;
- Система дистанционного управления.

Для того чтобы в реакторе происходила ЯЦР, необходимо наличие в нём делящегося вещества, которое при своем распаде выделяет элементарные частицы, способные вызвать распад других ядер.

Деление атомного ядра может произойти самопроизвольно или при попадании в него элементарной частицы. В качестве делящегося вещества в настоящее время могут использоваться изотопы урана – уран-235 и уран-238, а также плутоний-239. Самопроизвольный распад в ядерной энергетике не используется из-за очень низкой его интенсивности, поэтому для распада какого-либо атомного ядра необходимо попадание в него элементарной частицы с определенной энергией (величина этой энергии должна лежать в определенном диапазоне: более медленная или более быстрая частица просто оттолкнется от ядра, не проникнув в него). Такими частицами являются нейтроны.

В ядерном реакторе происходит ядерная цепная реакция: ядра урана или плутония распадаются, при этом образуются два-три ядра элементов середины таблицы Менделеева, выделяется энергия, излучаются гамма-кванты и образуются два или три нейтрона, которые, в свою очередь, могут прореагировать с другими атомами и, вызвав их деление, продолжить цепную реакцию.

В зависимости от скорости элементарной частицы выделяют два вида нейтронов: быстрые и медленные. Если большая часть делений происходит при поглощении тепловых (медленных) нейтронов, то такой реактор называется реактором на тепловых нейтронах. Энергия которых в такой системе не превышает 0.1 эВ. Если большая часть делений в

реакторе происходит при поглощении быстрых нейтронов, такой реактор называется реактором на быстрых нейтронах. Уран-238 делится только быстрыми нейтронами. При его делении выделяется энергия и образуется 2–3 быстрых нейтрона. Вследствие того, что эти быстрые нейтроны замедляются в веществе урана-238 до скоростей, неспособных вызвать деление ядра урана-238, цепная реакция в уране-238 протекать не может.

Классификация ядерных реакторов.

По характеру использования:

- Экспериментальные реакторы, предназначенные для изучения различных физических величин, значение которых необходимо для проектирования и эксплуатации ядерных реакторов; мощность таких реакторов не превышает нескольких кВт.

- Исследовательские реакторы, в которых потоки нейтронов и гамма-квантов, создаваемые в активной зоне, используются для исследований в области ядерной физики, радиационной химии, биологии, для испытания материалов, предназначенных для работы в интенсивных нейтронных потоках (в т.ч. деталей ядерных реакторов), для производства изотопов. Мощность исследовательских реакторов не превосходит 100 МВт. Выделяющаяся энергия, как правило, не используется.

- Изотопные (оружейные, промышленные) реакторы, используемые для наработки изотопов, используемых в ядерных вооружениях, например, ^{239}Pu ; в медицине.

- Энергетические реакторы, предназначенные для получения электрической и тепловой энергии, используемой в энергетике, при опреснении воды, для привода силовых установок кораблей, самолётов и космических аппаратов, в производстве водорода и металлургии и т.д. Тепловая мощность современных энергетических реакторов достигает 5 ГВт.

По спектру нейтронов:

- Реактор на тепловых (медленных) нейтронах («тепловой реактор»);
- Реактор на быстрых нейтронах («быстрый реактор»);
- Реактор на промежуточных нейтронах;
- Реактор со смешанным спектром.

Реактор на быстрых нейтронах БН-350 в Актау: его основное назначение – обеспечение расширенного воспроизводства делящегося плутония из урана-238 с целью сжигания всего или значительной части природного урана, а также имеющихся запасов обедненного урана. При развитии энергетики реакторов на быстрых нейтронах может быть решена задача самообеспечения ядерной энергетики топливом. Прежде всего, в реакторе на быстрых нейтронах нет замедлителя.

По размещению топлива:

- Гетерогенные реакторы, где топливо размещается в активной зоне дискретно в виде блоков, между которыми находится замедлитель;

- Гомогенные реакторы, где топливо и замедлитель представляют однородную смесь (гомогенную систему).

Блоки ядерного топлива в гетерогенном реакторе называются тепловыделяющими сборками (ТВС), которые размещаются в активной зоне в узлах правильной решётки, образуя ячейки.

По виду топлива:

- изотопы урана 235 и 233 (^{235}U и ^{233}U);
- изотоп плутония 239 (^{239}Pu);
- изотоп тория 232 (^{232}Th) (посредством преобразования в ^{233}U).

По степени обогащения:

- Естественный уран (0,71 % составляет ^{235}U ; 99,29% – ^{238}U);
- Слабо обогащённый уран (до 1,5 %);
- Чистый делящийся изотоп.

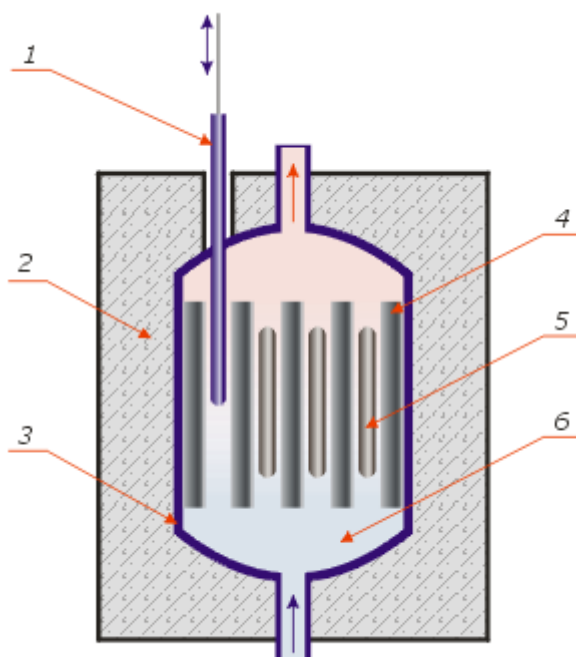


Рисунок 1 – Схематическое устройство гетерогенного реактора на тепловых нейтронах
 1 – управляющий стержень, 2 – биологическая защита, 3 – теплоизоляция, 4 – замедлитель, 5 – ядерное топливо, 6 – теплоноситель

По виду теплоносителя:

- H₂O (вода, ВВЭР);
- Газ, (Графито-газовый реактор);
- D₂O (тяжёлая вода, Тяжеловодный ядерный реактор, CANDU);
- Реактор с органическим теплоносителем;
- Реактор с жидкометаллическим теплоносителем;
- Реактор на расплавах солей;
- Реактор с твердым теплоносителем.

По роду замедлителя:

- С (графит, Графито-газовый реактор, Графито-водный реактор);
- H₂O (вода, Легководный реактор, ВВЭР);
- D₂O (тяжёлая вода, Тяжеловодный ядерный реактор, CANDU): у тяжелой воды очень

низкая степень поглощения нейтронов и очень высокие замедляющие свойства, превышающие аналогичные свойства графита, вследствие чего такие реакторы работают на необогащенном топливе, что позволяет не строить сложные и опасные предприятия по обогащению урана. Но добывать тяжелую воду очень дорого;

- Be, BeO;
- Гидриды металлов;
- Без замедлителя (Реактор на быстрых нейтронах).

По конструкции:

- Корпусные реакторы (активная зона имеет общий защитный корпус, который выдерживает давление теплоносителя, текущего общим потоком);
- Канальные реакторы (теплоноситель подводится к каждому каналу с топливной сборкой отдельно; корпус реактора не нагружен давлением теплоносителя, а это давление несёт каждый отдельный канал).

По способу генерации пара:

- Реактор с внешним парогенератором (ВВЭР);

- Кипящий реактор.

Наиболее распространёнными в мире являются водо-водяные (около 62 %) и кипящие (20 %) реакторы.

По наличию защитного контура:

- Один (РБМК);
- Два (ВВЭР).

По форме активной зоны:

- Форма цилиндра;
- Параллелепипеда;
- Шара.

Реактор с шаровой засыпкой и газовым контуром: в реакторе с шаровой засыпкой активная зона имеет форму шара, в который засыпаны тепловыделяющие элементы, также шарообразные. Каждый элемент представляет из себя графитовую сферу, в которую вкраплены частицы оксида урана. Через реактор прокачивается газ - чаще всего используется углекислота CO_2 . Газ подается в активную зону под давлением и впоследствии поступает на теплообменник. Регулирование реактора осуществляется стержнями из поглотителя, вставляемыми в активную зону. Технология производства реакторов с шаровой засыпкой еще недостаточно хорошо разработана, хотя этот тип реакторов стоило бы признать наиболее приемлемым для широкого применения, в частности, из-за отсутствия катастрофических последствий при аварии с разгоном реактора.

По времени действия:

- Непрерывного действия;
- Прерывистого действия;
- Импульсные.

Таким образом, нами рассмотрена классификация ядерных реакторов, освоены принципы получения ядерной энергии, а также проведена сравнительная характеристика канального и корпусного ядерных реакторов.

Литература

1. Основное оборудование АЭС: учеб. пособие / Дмитриев С.М. и др. – Минск: Высшая школа, 2015. – 288 с.