# Конспект занятия 1.

## Цель.

Дать общие представления о современном этапе развития атомной энергетики. Рассмотреть последовательность этого развития от первоначальной идеи к техническому воплощению, основываясь на конкретных примерах и исторической хронологии.

## План.

1. Современный этап развития ядерной энергетики. Реакторы на тепловых и быстрых нейтронах.
2. Концепция Э. Ферми и А. Лейпунского. Историческая справка о развитии реакторов на быстрых нейтронах.
3. Энергетические реакторы на быстрых нейтронах: действующие и перспективные, их сравнительные характеристики, проблемы безопасности.

Развитие человеческой цивилизации всегда было связано с поиском и использованием источников энергии. Прошлый и настоящий век в истории, наверное, будут названы веками освоения и использования энергии атома.

Инициатива Президента Российской Федерации 6 сентября 2000 года в ООН непосредственно касалось будущего развития ядерной энергетики. Отмечены следующие наиболее важные, в том числе политически, моменты развития современной энергетики:

- обеспечение устойчивого развития человечества энергией без ограничений со стороны ресурсов топлива и отравления внешней среды продуктами горения.

- закрытие каналов получения «ядерной взрывчатки», связанной с ядерной энергетикой.

- завершение сокращения ядерных арсеналов, начатого РФ и США, всеобщим и полным запрещением и ликвидацией ядерного оружия.

Конкретные пути решения задач, поставленных Президентом, представлены в «Стратегии развития ядерной энергетики России до середины XXI века», принятой Минатомом России в 2000-м году и одобренной Правительством РФ. В последующие годы были разработаны и приняты к исполнению ряд конкретных программ по направлениям. Некоторые из них включают разделы связанные непосредственно с решением проблем экологии и выводом АЭС из эксплуатации, эти задачи обеспечиваются значительной финансовой поддержкой.

Необходимо подчеркнуть существенную разницу двух направлений развития ядерной энергетики при использовании реакторов на тепловых и быстрых нейтронах[1].

Первое направление (реакторы на тепловых нейтронах) в настоящее время весьма широко используется в ядерной энергетике, но имеет ряд существенных недостатков:

- проблема топливных ресурсов решается за счет увеличения добычи урана.

- радиоактивные отходы в основной своей массе не перерабатываются, а захораниваются.

- вопросы безопасности сводятся к рассмотрению наиболее вероятных аварий, увеличению требований к оборудованию и персоналу.

-проблема нераспространения решается усилением контроля за делящимися материалами.

Второе направление (реакторы на быстрых нейтронах) в настоящее время не имеют широкого применения в ядерной энергетике, но представляются достаточно перспективными по следующим причинам:

- проблема топливных ресурсов может быть решена естественным воспроизводством ядерного топлива в реакторах на быстрых нейтронах.

- радиационно-эквивалентное захоронение радиоактивных отходов без нарушения природного радиационного баланса за счет глубокой очистки отходов, возвращения и сжигания их в быстрых реакторах.

- естественная безопасность подразумевает исключение тяжелых аварий за счет присущих быстрым реакторам внутренних физических качеств и закономерностей.

Считаю необходимым привести цитату из лекции профессора В.В.Орлова [1]:

*«Недавно стали известны выступления Э.Ферми в 1944г.- создателя первого в мире ядерного реактора (Чикаго,1942 г.)- относительно использования ядерной энергии в мирных целях. Основную цель он видел в овладении ресурсами ядерного топлива* ***на основе воспроизводства.*** *К тем же идеям в СССР в 1947г. пришел А.И. Лейпунский (ФЭИ, г. Обнинск).*

*Они впервые показали, что роль быстрых реакторов в крупномасштабной ядерной энергетике определяется, в первую очередь, уникальным избытком нейтронов в расчете на сгоревшее ядро плутония. Такой избыток служит фундаментальной физической предпосылкой воспроизводства и даже бридинга плутония, решения проблем безопасности, радиоактивных отходов, нераспространения ядерного оружия и связанной с ним экономики »*

Рассмотрим хронологическую последовательность разработки объектов ядерной энергетики, использующей реакторы на быстрых нейтронах (РБН). Нас будут интересовать (Таблица 1.): страна и дата пуска (остановки), наименование объекта, мощность тепловая, топливо, теплоноситель.

Таблица 1.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **США**  **Дата пуска**  **(остановки)** | **Наименование** | **Мощность**  **Тепловая**  **(электри-ческая)** | **Топливо** | **Тепло-носитель** | **СССР**  **Дата пуска**  **(остановки)** |
| 1949  1951  1963  1963  (1967)  (1967)  (1980) | Клементина  EBR-1  БР-1  БР-2  БР-5  8 РБН для под-водных лодок.  Энрико Ферми EBR-2  EBR-1(авария)  Энрико Ферми  (авария)  БОР-60  БН-350  БН-600  Приостановка  работ по РБН. | 25 кВт  (200 кВт)  0 кВт  100 кВт  5 МВт  200(65) МВт 62(20) MBт  60МВт  1000(350)МВт  1800(600)МВт | Pu  U  Pu  Pu  PuО2  U  U  UО2  UО2- PuО2  UО2- PuО2 | Hg  Na-K  Hg  Hg  Na  Pb-Bi  Na  Na  Na  Na  Na | 1952  1956  1958  1962  1969  1972  1980 |

*Примечание:*

***Энрико Ферми*** *- итальянский физик, лауреат Нобелевской премии, один из разработчиков американской атомной бомбы, создатель первого в мире ядерного реактора (Чикаго, 1942 г.)*

***Александр Ильич Лейпунский*** *- академик УССР, руководитель отечественной программы по РБН, директор Физико-энергетического института (ФЭИ) г. Обнинск, первый декан инженерно-физического факультета Московского механического института боеприпасов (ММИ), названный позднее МИФИ.*

В таблице 1 показана история развития программ создания АЭС с РБН в СССР и США. Программа США не была выполнена.

Программа СССР имеет логическое завершение: успешно работает АЭС с РБН БН-600, 25 лет устойчиво проработал РБН БН-350 в Казахстане (г. Шевченко). Он был выведен из эксплуатации в 1997 году по решению правительства Казахстана.

Во Франции успешно развивается программа по РБН, разработаны и действуют исследовательские РБН Рапсодия и Рапсодия-форте, эксплуатируются АЭС с РБН Феникс и Супер-Феникс.

Почему «подарок природы», выраженный в концепции ***Энрико Ферми и Александра Ильича Лейпунского,*** не воплотился в широкомасштабную атомную энергетику?

По моему мнению, главной причиной являлся интерес к собственной, государственной безопасности стран, способных реализовать в тот период времени подобный проект. Способ получения плутония в тепловых реакторах был более очевиден и дешев, что дало в конечном итоге иметь достаточное количество атомных зарядов противоборствующим сторонам, что бы, как не странно, сохранить на земле относительный мир и жизнь.

После тяжелых аварий на АЭС в «Три-Майл Айленд» (США, 1979 г.) и в Чернобыле (СССР, 1986г.) снизился интерес к атомной энергетике как основной альтернативе углеводородной. Разработчиками АЭС в последние 15 лет сделано не мало для обеспечения безопасной работы действующих и проектируемых АЭС.

Настоящий период развития ядерной энергетики часто называют ренессансом. Каким будет возрождение, покажет время.

На графике (рис. 1) представлен прогноз изменения мощности электростанций в мире при использовании топливного потенциала ядерной энергетики с РБН и РТН. Из представленного графика видно, что использование в АЭС:



**Рис. 1.Топливный потенциал развития ядерной энергетики**

**при использовании быстрых реакторов.**

- РТН приводит исчерпанию запасов 235-го урана к 2080 году, а плутония к 2100 году. Введение же в оборот технологически существенно более сложного ториевого цикла приводит к незначительному росту вводимых мощностей.

- РБН приводит к устойчивому значительному росту вводимых мощностей из-за высокого по сравнению РТН коэффициенту воспроизводства и вовлечения в энергетику плутония, полученного из 238-го урана.

Следует остановиться ещё на одном важном вопросе: какое экологическое наследие мы оставим нашим потомкам?

На рис.2 представлена зависимость десятичного логарифма приведённой активности от времени хранения радиоактивных отходов, кривые 1-3 соответствуют различной степени очистки с учётом их качественного состава. Исходя из определения S, зеленая и коричневая горизонтальные прямые соответствуют активности отходов равной природной урановой среде и десятикратное её превышение соответственно.



Рис.2. Радиационная эквивалентность топливного цикла крупномасштабной ядерной энергетики.

Приведу цитату из [1]: *«Радиационно-эквивалентное захоронение радиоактивных отходов (без нарушения природного радиационного баланса) за счет глубокой очистки отходов от всех актиноидов, возвращения и сжигания их (трансмутации) в быстрых реакторах (актиноиды - семейство из радиоактивных элементов (металлов) с Z=90-103, образующихся в результате захвата нейтронов с последующими бета-распадами). Стратегическим направлением здесь является замыкание ядерного топливного цикла, в результате чего достигается а) практически полное использование природного ядерного топлива и искусственных делящихся материалов (плутония и др.), б) минимизация образования радиоактивных отходов от переработки ядерного топлива и в) обеспечение баланса (равенства) между радиационной опасностью захораниваемых радиоактивных отходов и урана, извлекаемого из недр.»*

Кривая 1 (рис 2.) соответствует сегодняшнему положению дел в этой области, кривая 3 – при широком использовании АЭС с РБН и замкнутого цикла, кривая 2- некоторый промежуточный вариант.

В таблице 2 представлены технико-экономические показатели АЭС с быстрыми и тепловыми реакторами РФ (в ценах 1991 г.), сравниваются проектируемые АЭС с показателями действующей на базе реактора ВВЭР-1000.

Таблица 2.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Характеристика | Брест-1200 | БН-800 | ВВЭР-1000 | ВВЭР-1500 |
| Удельные капитальные вложения, (руб/кВт) | 875 | 1106 | 920 | 827 |
| Себестоимость отпускаемой электроэнергии, коп/кВт-час | 1,5 | 2,49 | 2,11 | 1,62 |
| Срок службы, лет | 60 | 30 | 40 | 50 |
| Собственные нужды, % | 5,7 | 7,6 | 5,8 | 5,7 |