

**АЭС с реакторами на быстрых нейтронах:
вчера, сегодня, завтра
г. Обнинск, 25 июня 2021 г.**



История развития «быстрой» тематики в мировой атомной энергетике

**В.И. Аксёнов,
директор ВАО АЭС-МЦ**

Развитие энергетики на основе реакторов на быстрых нейтронах было предложено Энрико Ферми. По его предположению такие устройства могли производить топлива больше, чем потребляли, что открывало путь к энергетике с практически неисчерпаемыми ресурсами.

Свои расчеты Ферми представил на специальном совещании «Обсуждение проблемы воспроизводства» 26 апреля 1944 года. С этого момента началась активная работа по созданию бридера.

США, СССР, Великобритания: эти ведущие державы были первыми, кто подключился к развитию многообещающей технологии. В пятидесятых годах были спроектированы и построены первые исследовательские реакторы.

Позднее эту технологию начали осваивать во Франции, Японии, Германии, Индии и Китае.

ЭНРИКО ФЕРМИ-1 (США)

- Реактор на быстрых нейтронах мощностью 61 МВт(э) построен на первом энергоблоке для коммерческой эксплуатации (штат Мичиган).
- Начало сооружения: декабрь 1956 г.
- Физический пуск: август 1963 г.
- Включение в сеть: август 1966 г.
- Остановлен: ноябрь 1972 г.
- Авария с частичным расплавлением в 1966 г. привела к длительному ремонту. После перезапуска все же был окончательно остановлен.



БОР-60 (СССР, Россия)

- Экспериментальный реактор на быстрых нейтронах мощностью 60 МВт(т) не только используется в широких исследовательских целях, но и является прототипом АЭС малой мощности, вырабатывая электрическую и тепловую энергию.
- Начало сооружения: 1965 г.
- Физический пуск: ноябрь 1968 г.
- Ввод в эксплуатацию: 1969 г.
- Находится в эксплуатации (!)



БН-350 (СССР, Казахстан)

- Первый энергоблок с реактором на быстрых нейтронах БН-350 построен и запущен в г. Шевченко.
 - Начало сооружения: октябрь 1964 г.
 - Физический пуск: ноябрь 1972 г.
 - Включение в сеть: июль 1973 г.
 - Остановлен: апрель 1999 г.
- Тепловая мощность реактора 1000 МВт расходовалась на производство электроэнергии, тепла для отопления и на получение пресной воды на единственной в то время атомной опреснительной установке в мире.



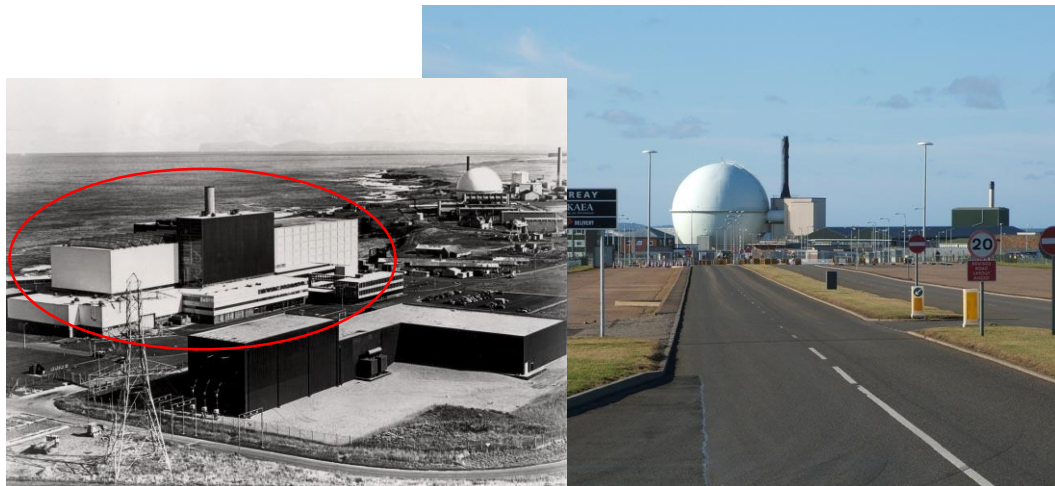
ФЕНИКС (Франция)

- Энергетический реактор на быстрых нейтронах мощностью 230 МВт(э) в ядерном центре Маркуль.
 - Начало сооружения: ноябрь 1968 г.
 - Физический пуск: август 1973 г.
 - Включение в сеть: декабрь 1973 г.
 - Остановлен: март 2009 г.
- Неоднократные аварийные ситуации с внезапным снижением реактивности стали одной из причин закрытия «Феникса».



DFR и PFR (Великобритания)

- Второй энергетический реактор на быстрых нейтронах (DFR) мощностью 15 МВт(э), с теплоносителем из натрий-калиевого сплава, был включен в сеть в октябре 1962 г. и в 1977 г. был остановлен для вывода из эксплуатации.
- Третий и последний эксплуатируемый УКАЕА реактор на быстрых нейтронах (PFR) мощностью 250 МВт(э), реактор бассейнового типа, охлаждаемый жидким натрием с МОХ-топливом:
 - Начало сооружения: январь 1966 г.
 - Физический пуск: март 1974 г.
 - Включение в сеть: январь 1975 г.
 - Остановлен: март 1994 г.
- Оба энергетических реактора и один исследовательский находятся в центре ядерно-энергетических разработок в Дунрее.



СУПЕРФЕНИКС (Франция)

- Энергетический реактор на быстрых нейтронах мощностью 1200 МВт(э) был построен на АЭС Крей-Мальвиль с учетом опыта реактора «Феникс».
- Начало сооружения: декабрь 1976 г.
- Физический пуск: сентябрь 1985 г.
- Включение в сеть: январь 1986 г.
- Остановлен: декабрь 1996 г.
- Технические проблемы с утечками натрия, процедурами обращения с топливом, событием с окислением натрия, обрушением крыши машзала после сильного снегопада и многочисленными протестами общественности явились причинами закрытия «Суперфеникса».



Строительство первого энергоблока с реактором на быстрых нейтронах (PFBR) мощностью в 500 МВт(э) было начато Индией в 2004 г. на АЭС Мадрас в Калпаккаме. Реактор бассейнового типа с натриевым теплоносителем на уран-плутониевом MOX-топливе.

Индия, начиная с 1985 г., эксплуатировала свой прототип натриевого быстрого бридера, тепловой мощностью в 40 МВт, названный FBTR («быстрый тестовый реактор-размножитель»). Прототипом для проектирования FTBR был первый экспериментальный французский бридер «Рапсодия», запущенный ещё в 1967 г.

По некоторым источникам, критичность PFBR может быть достигнута в 2021 г.



Энергетический реактор на быстрых нейтронах мощностью 280 МВт(э) был построен на о.Хонсю недалеко от АЭС Цуруга с учетом опыта реактора Дзёё.

Начало сооружения: май 1986 г.

Физический пуск: апрель 1994 г.

Включение в сеть: август 1995 г.

Остановлен: декабрь 1995 г.

После включения в сеть проработал до 8 декабря. В конце 1995 г. на станции произошла утечка нескольких сот килограммов жидкого натрия. После долгого простоя реактора потребовалась замена загружаемого топлива, затем обнаружились проблемы с герметизацией помещений. Реактор был фактически запущен в тестовом режиме 6 мая 2010 г. А 26 августа 2010 г. на реакторе произошла новая авария — в реактор упала трёхтонная металлическая труба, повредившая сам реактор.



- Строительство энергоблока с реактором на быстрых нейтронах (CFR-600) мощностью в 600 МВт(э) начато в 2017 г. в провинции Фуцзянь.
- Планируется также построить более крупный промышленный реактор CFR-1000.
- В настоящее время действует один энергоблок с экспериментальным быстрым натриевым реактором CEFR мощностью в 20 МВт(э), физпуск которого состоялся в июле 2010 г., а включение в сеть в июле 2011 г. Расположен недалеко от Пекина.



Быстрые реакторы: бесценный опыт

- Физико-энергетический институт им. А.И.Лейпунского, отмечающий свое 75-летие, первым в Советском Союзе начал разработку концепции ядерных реакторов на быстрых нейтронах.
- Проведенные ФЭИ, НИИАР и многими другими организациями разработки, исследования заложили основу уникальной области технологии и безопасности АЭС с реакторами на быстрых нейтронах.
- БН-350 не только производил электроэнергию, но и использовался для опреснения воды Каспийского моря, стал экспериментальной базой для крупномасштабного освоения технологии натрия, физических исследований и испытаний топливных сборок и других элементов активной зоны. Результаты его эксплуатации были положены в основу проекта энергетического реактора на быстрых нейтронах БН-600.
- Первые опытно-промышленные установки БН-350 и БН-600 продемонстрировали реальность и сравнительно высокие показатели надежности, безопасности и приемлемые экономические показатели реакторов на быстрых нейтронах.
- В 2015 году пущен в эксплуатацию реактор БН-800, уникальный в своем роде реактор, который уже приспособлен для работы на плутониевом топливе с полным замкнутым циклом воспроизводства.

- Ведущие ядерные державы по-прежнему демонстрируют высокий интерес к «быстрой» тематике (в т.ч. ММР), признавая лидерство России в этой области.
- «Ядерная энергетика будущего будет представлять собой двухкомпонентную ядерно-энергетическую систему на базе реакторов на тепловых и быстрых нейтронах с замкнутым ЯТЦ» (Госкорпорация «Росатом»).
- Предстоит выполнить комплексные системные оценки, обосновывающие выбор идеологии двухкомпонентной ЯЭС и технологических основ её создания. Решение должно приниматься на основе многокритериального подхода, учитывающего перспективы развития энергетики после 2050 года.
- Знаменательным событием в развитии «быстрой» тематики стала состоявшаяся 8 июня заливка первого бетона в фундаментную плиту уникального инновационного реактора на быстрых нейтронах БРЕСТ-ОД-300 – нового атомного энергоблока.

Благодарю за внимание !

1. Приход нового поколения персонала на атомные станции.



2. Внедрение цифровых систем контроля и управления.

3. Новые проекты.

WANO

4. Страны-новички, сооружающие атомные станции.

GLOBAL LEADERSHIP IN NUCLEAR SAFETY

Новое поколение – это:

1. Индивидуализм и сниженное чувство коллективной ответственности.
2. Отсутствие практики выполнения простых физических работ, работы с инструментами и приспособлениями в бытовых условиях.
3. Размытые границы между реальным и виртуальным.
4. Лучшее восприятие информации с электронных носителей.
5. Меньший объем базовой информации, сохраняемой в памяти, а надежда на нахождение её в электронных носителях.
6. Нежелание или боязнь принимать решения и брать на себя ответственность.
7. Использование стандартных штампов или шаблонов, а не самостоятельно продуманный план действий.
8. Недостаточное знание истории атомной энергетики и уроков, извлеченных из событий и аварий.
9. Мнение о несоответствии вложенного труда и заработной платы.

GLOBAL LEADERSHIP IN NUCLEAR SAFETY

Должна быть принята **единая политика эксплуатирующей организации** в отношении обеспечения безопасности атомных станций при смене поколений персонала и скачке в развитии автоматизации и компьютеризации на основе цифровизации и искусственного интеллекта.

WANO

GLOBAL LEADERSHIP IN **NUCLEAR SAFETY**