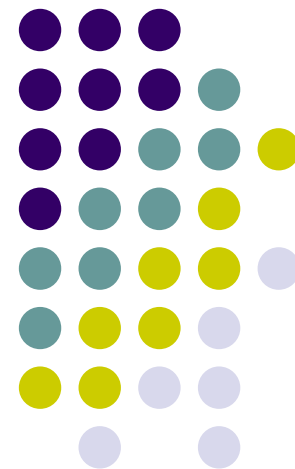


ГНЦ РФ- «Физико-энергетический институт
им. А.И. Лейпунского»

КОРПУСНЫЕ КИПЯЩИЕ РЕАКТОРЫ



"АТОМЭКСПО 2010", 7 июня 2010

В.А. Пивоваров



Перспективы легководного направления АЭС-2006, АЭС-2009, ВВЭР-1500, что дальше?

1. Улучшение топливоиспользования
2. Упрощение схемы РУ
3. Сокращение объемов и сроков строительства
4. Повышение КПД

Обязательное условие: БЕЗОПАСНОСТЬ

PWR (210 шт.) и BWR (92 шт.) – два пути развития легководных реакторов



Проблемы BWR:

- Коррозия оболочек в кипящем режиме
- Проблемы с устойчивостью поля из-за сильной обратной связи по плотности воды
- Неравномерность энерговыделения по сечению ТВС
- Большие размеры корпуса (ABWR $d=7,1$ м, $h = 21$ м)
- Нижнее расположение органов СУЗ

Достижения BWR:

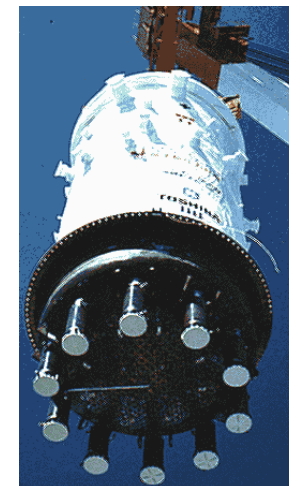
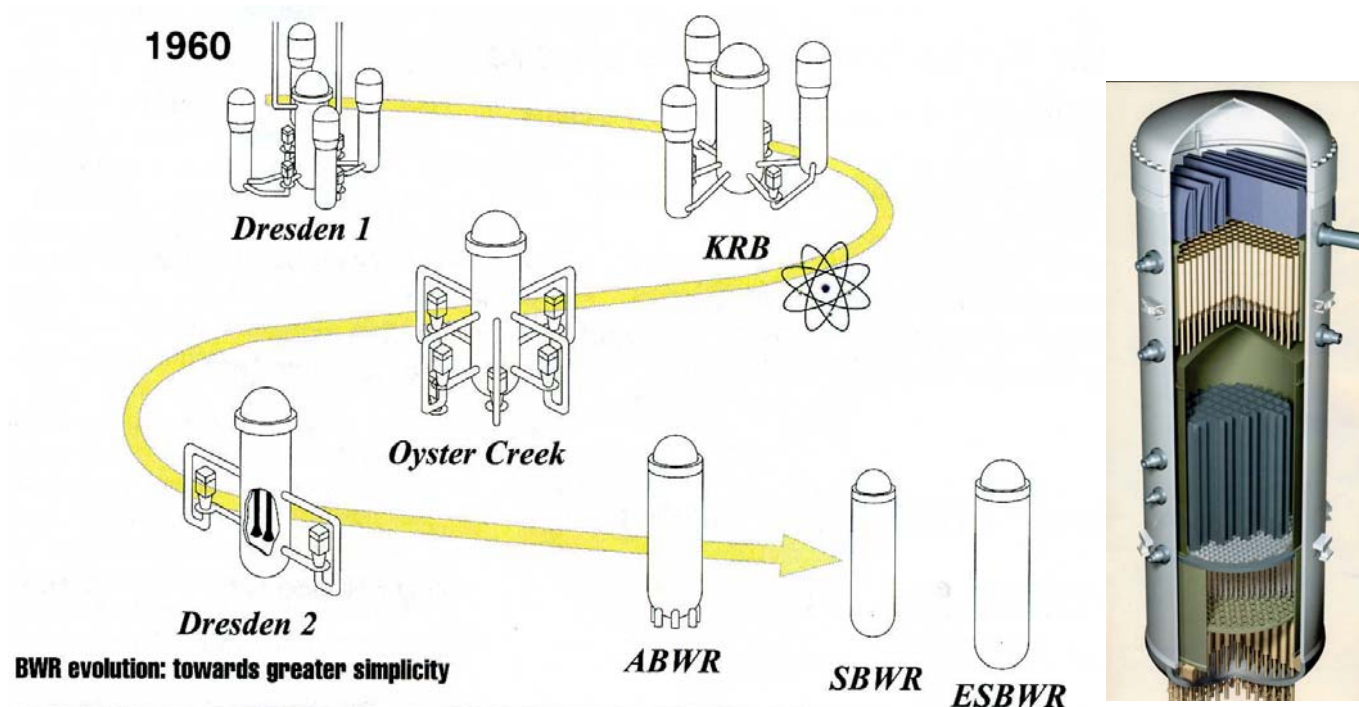
- КИУМ 35 BWR США – 89,1%
- КИУМ 7 BWR Швеции - 91,4%
- Коллективная доза:
 - по всем PWR – 0,8 чел-Зв/р-год
 - по всем BWR – 1,5 чел-Зв/р-год
 - по шведским – 0,6 чел-Зв/р-год
- Из 8 реакторов построенных в Японии с 1996 г – 7 кипящие.
- Последний PWR был пущен в Японии в 1998 г.
- 24.09.07 в США в NRC направлена первая заявка на строительство 2 блоков ABWR на АЭС «Саус Тексас», планируется строительство еще 2 ABWR (Беллафонте)
- ABWR-II - 1600 МВт(э)

Преимущества кипящего корпусного реактора

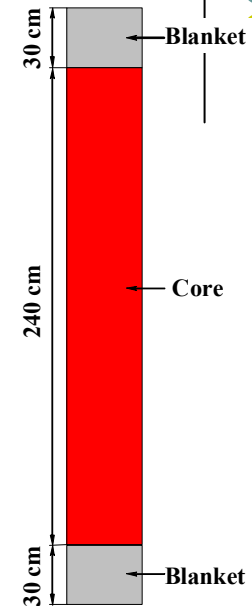
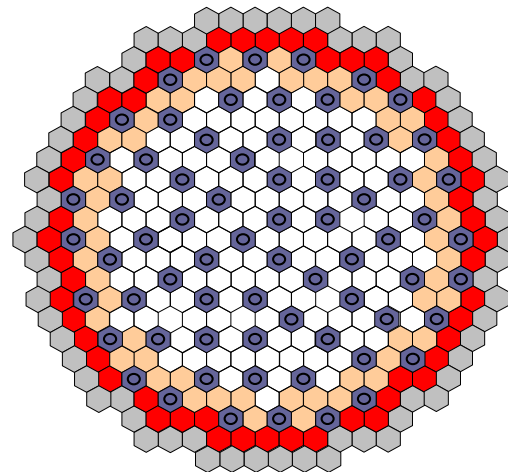
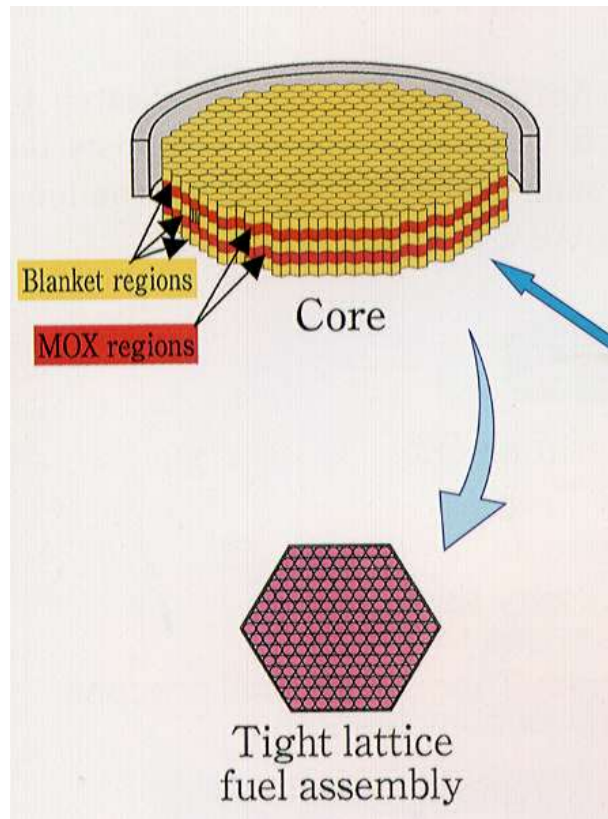







- Упрощение схемы РУ (отсутствие большого оборудования - парогенераторов, компенсатора давления, борной системы регулирования, 2 контура циркуляции с его трубопроводами, арматурой, КИП и т.д.)
- Сокращение объемов и сроков строительства
(меньше оборудования – меньше помещений, меньшие объемы и сроки строительства. Срок строительства ABWR – 38 месяцев)
- Пониженные технологические параметры (давление, температура, градиент температур) – безопасность и надежность (КИУМ)
- Потенциал развития:
 - а) естественная циркуляция
 - б) эффективное топливоиспользование (КВ ~ 1)

PWR, ВВЭР – лидеры атомной энергетики XX века BWR – лидирующая технология XXI века



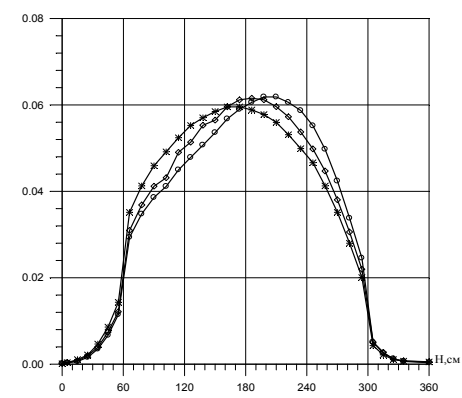
Реактор на быстрых нейтронах



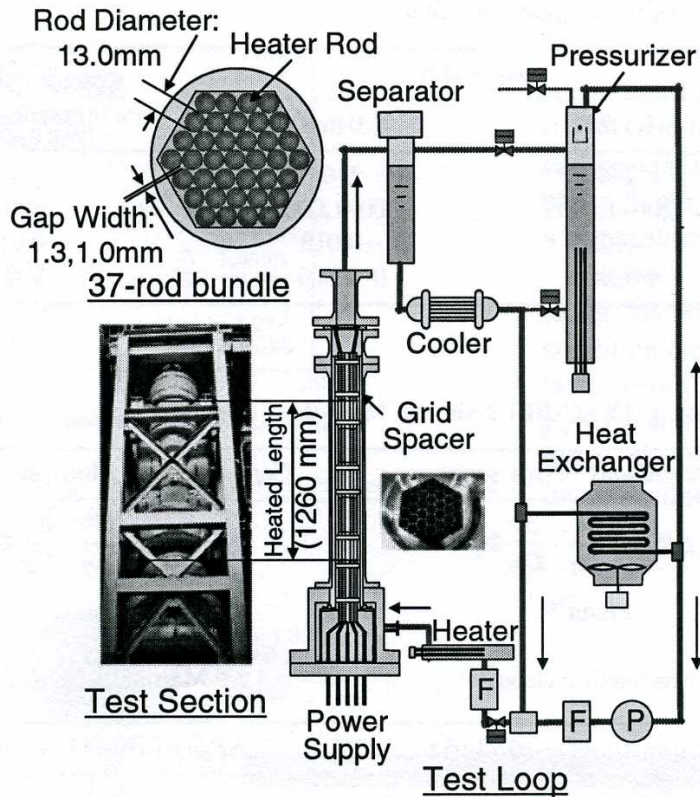
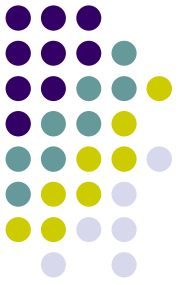
-  MOX малого обогащения, 7.64% Pu_{fiss}, 124 шт.
-  MOX среднего обогащения, 8.25% Pu_{fiss}, 54 шт.
-  MOX большого обогащения, 9.47% Pu_{fiss}, 54 шт.
-  UO₂ воспроизводящий бланкет, 66 шт.
-  UTh вставка, 1% U-233, 69 шт.

W = 4000 МВт(т)
КВ = 1.03
Даз = 7.6 м
КПД = 34%

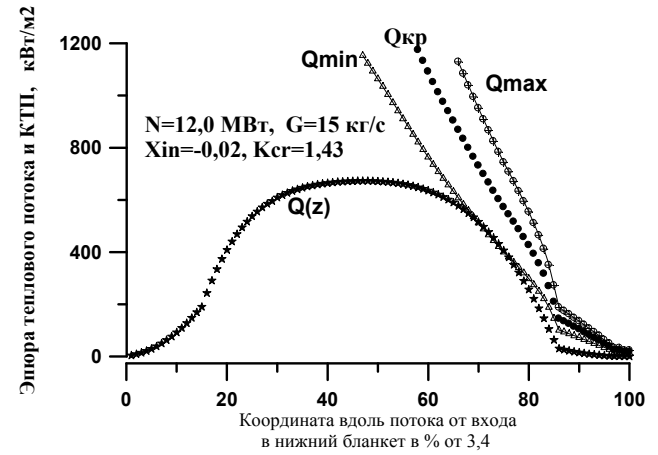
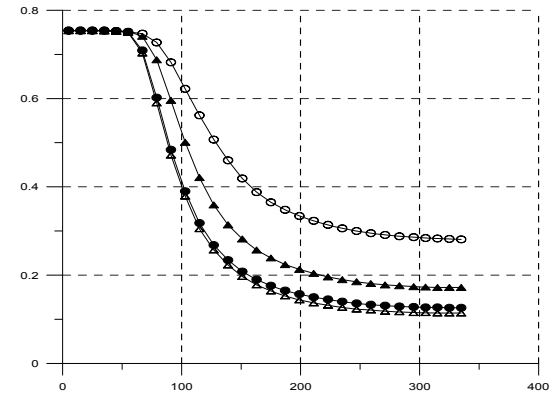
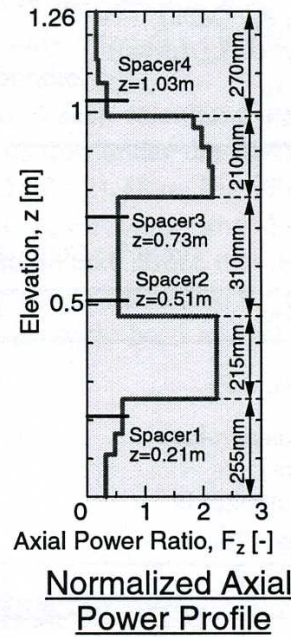
W = 3000 МВт(т)
КВ = 0.96
Даз = 4.6 м
КПД = 34%



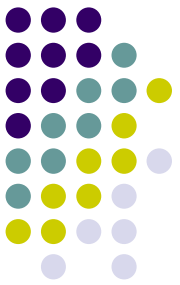
Теплотехническая надежность



Max. Press : 9.5 MPa
 Max. Temp : 581 K
 Max. Power : 3 MW



ФАКТОРЫ УСТОЙЧИВОСТИ



- **значительно менее жестка обратная связь по плотности теплоносителя, из-за которой и развиваются колебания - коэффициент реактивности по плотности теплоносителя в кипящем БР в 3-5 раз меньше, чем в тепловом реакторе;**
- **существенно большее гидравлическое сопротивление в ТВС с тесным пучком твэлов, что также препятствует развитию колебаний расхода и плотности теплоносителя;**
- **отсутствие ксенонового отравления в быстром спектре, которое в тепловом реакторе провоцирует ксеноновые колебания мощности реактора и локального энерговыделения, что также может послужить источником появления неустойчивости;**
- **стабильный профиль энерговыделения с максимумом в центральной плоскости активной зоны, способствующий повышению устойчивости реактора.**



Что в итоге?

- Упрощение схемы РУ – **Да**
- Сокращение объемов и сроков строительства – **Да**
- Повышение эффективности топливоиспользования – **Да**
(КВ = 0.95 – 1.05, возможность вовлечения Th)
- Повышение КПД – **Нет**

При этом:

- Р: 16 МПа → 8 МПа
- $\Delta T_{\text{тепл.}}$: 40°C → 15°C
- $T_{\text{об}}$: 350°C → 350°C
- *отработанные материалы*
- *стандартное оборудование*
- *отработанные системы безопасности BWR*
- *тысячи реакторо-лет эксплуатации BWR*

Отечественный опыт РБМК, специалисты и экспериментальная база этого направления



Выводы

Основные тенденции в развитии легководного направления XXI века:

- Превалирование одноконтурных корпусных кипящих реакторов большой мощности: ABWR 1380 → 1600-1700 МВт(э) (ABWR II)
- Разработка кипящих реакторов большой мощности с естественной циркуляцией теплоносителя (ESBWR – 1500 МВт);
- Переход к тесным решеткам (RMWR), улучшение топливоиспользования (КВ~1)

Корпусной кипящий реактор – наиболее безопасный, реалистичный и короткий путь к быстрому спектру

*Лучше поздно, чем
никогда!*

**СПАСИБО ЗА
ВНИМАНИЕ!**

