

**«Европейский подход к созданию источников нейтронов для трансмутации»,
и
“Возможности и перспективы использования управляемого ядерного синтеза в решении проблем атомной энергетики”**

Проф. В. Гудовски
Международный научно-технический центр
– МНТЦ

Профессор Королевского института
технологии (КТН), Стокгольм



В Европе нет «единого» взгляда на «атомную энергетику будущего»



- Тем не менее, еще в 2007 г. Европейская Комиссия сделала запрос относительно концепций «жизнеспособной атомной энергетики».
- Проект под названием «Технологическая платформа для устойчивой атомной энергетики» (SNETP), получивший финансовую поддержку, предложил Европе ряд приемлемых вариантов будущей стратегии.



ISTC M I T C 5 years

SNETP: Программа стратегических исследований

- В разработке программы SNETP принимали участие свыше 150 ученых, исследователей и инженерно-технических специалистов из более, чем 60 организаций, включая промышленные предприятия промышленности, науки, техники безопасности и университеты.
- Программа стратегических исследований – это практический рабочий документ, в который каждые 3-4 года, после пересмотра, могут вноситься изменения и дополнения.
- Информация: www.snetp.eu



Концепция «устойчивой атомной энергетики»

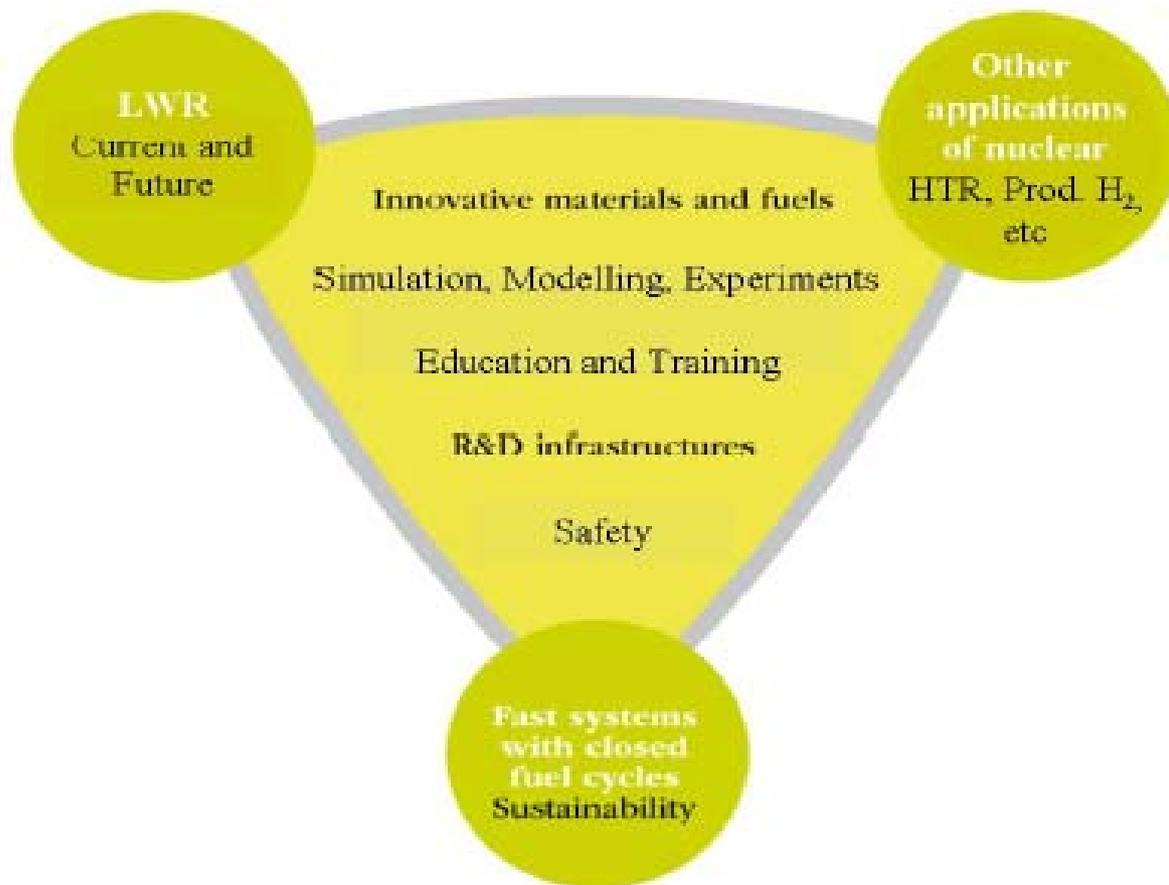


- Понятие «устойчивого развития» определяется по-разному, но чаще всего принято цитировать дефиницию, содержащуюся в докладе «Наше общее будущее», известном также как Доклад комиссии Брутланд (1987):

«Длительное непрерывное развитие, обеспечивающее потребности живущих сегодня людей без ущерба удовлетворению потребностей будущих поколений».



Основу программы SNETP составляют три направления:



Основные направления программы SNETP :



- Достижение устойчивого производства энергии;
- Экономическая приемлемость;
- Прорывные технологии;
- Высокий уровень безопасности (включая экологию и завершение топливного цикла).



Важные выводы (1):



- Для снижения количества отходов и оптимизации использования ресурсов **НЕОБХОДИМЫ** усовершенствованные **ТОПЛИВНЫЕ ЦИКЛЫ**
 - Исследования, проведенные, в частности, в рамках европейских программ НИОКР, таких, как **Red-Impact** и **Pateros, Eurotrans, ACSEPT**, подтвердили, что одним из наиболее перспективных направлений является **“Разделение и трансмутация”** отдельных радионуклидов (в частности, актинидов).
 - Основной вывод состоит в том, что задача минимизации отходов в усовершенствованных топливных циклах должна рассматриваться в контексте глобальной задачи устойчивого развития.



Важные выводы(2):



- Анализ различных сценариев должен включать аспекты, связанные с промышленным внедрением, и экономическую оценку. Для определения потенциальных зон синергизма сценарии должны принимать во внимание комбинации реакторов—«сжигателей» различных типов, включая **FNR** и/или **ADS**.
- Сценарии должны предусматривать количественную оценку таких показателей, как:
 - Архитектура топливного цикла (доля и типы специализированных «сжигателей»)
 - Потребление природных ресурсов,
 - Количество ядерных материалов в обращении,
 - Воздействие на окружающую среду
 - Расходы,
 - Прогнозы достижения равновесного состояния,
 - Производственные мощности, необходимые для обработки и изготовления топлива (включая топливо, содержащее минорные актиниды, или мишени),
 - Технические сложности, общая безопасность, производство вторичных отходов, профессиональное облучение, риски распространения, принятие общественностью, и т.д.



Системы, вошедшие в стратегию GEN IV: SFR, LFR, GFR, ADS



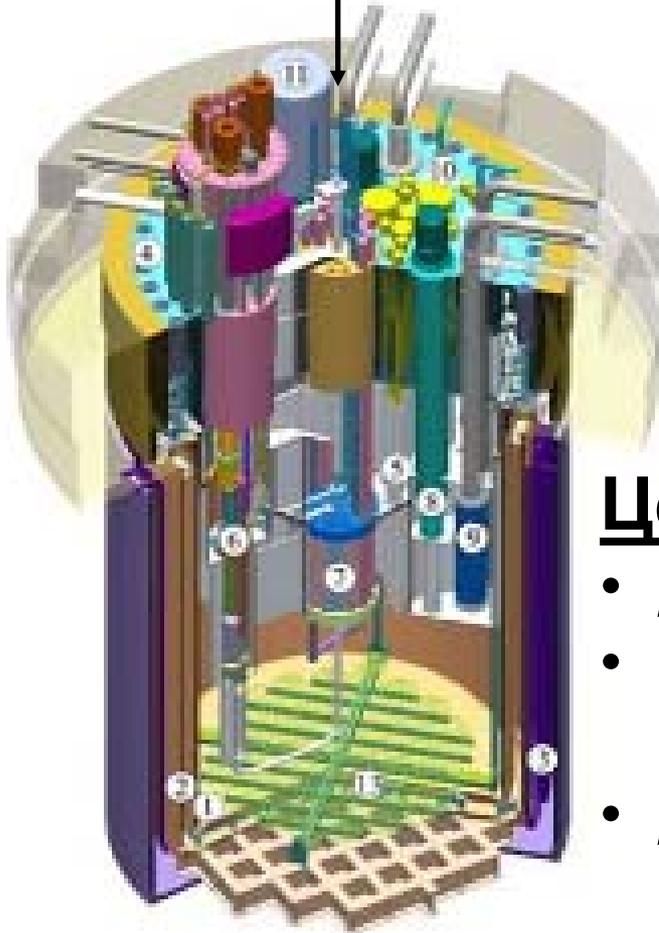
- **ADS-системы включены в европейскую стратегию «четвертого поколения» (Gen IV) и ИНПРО (МАГАТЭ):**
 - ADS: системы, управляемые ускорителем, рассматриваются в качестве установок-«сжигателей» для трансмутации больших количеств высокоактивных ядерных отходов (минорных актинидов).
 - Развитие технологии ADS-систем указывает на наличие широкой области пересечения с НИОКР в сфере быстрых реакторов, в частности, быстрых реакторов на основе свинцового теплоносителя.



Проект MYRRHA – 50-100 MW_{th}



Ускоритель
протонов



4 марта правительство Бельгии одобрило проект **MYRRHA**. Доля государства в бюджете данного проекта составит 40 % (M€ 384) от общей суммы (M€ 960).

Цели проекта:

- Демонстрация ADS системы;
- Отработка новых материалов и технологий;
- Демонстрация R&T технологий



Проект MYRRHA



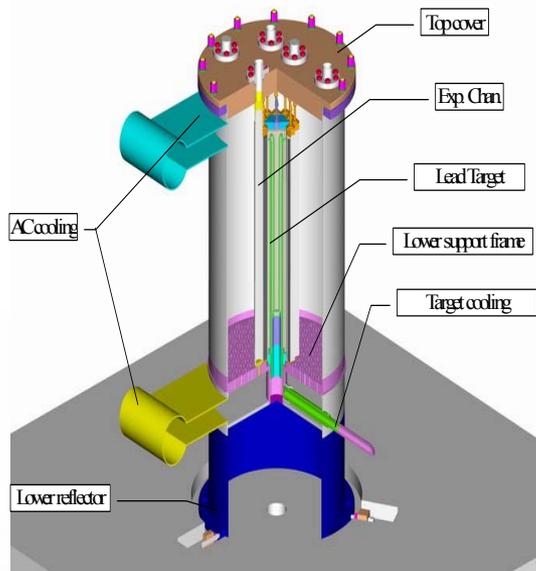
В течение первых пяти лет (этап FEED, 2010-2014, 60 М€) будут выполнены расчетные и технические исследования:

1. **Завершение НИОКР**, необходимых для преодоления последних технических препятствий.
 2. **Лицензирование MYRRHA:**
 - a. Предварительный отчет об оценке безопасности (PSAR);
 - b. Предварительный план демонтажа (PDP);
 - c. Отчет о результатах оценки экологического воздействия (EIAR).
 3. **Создание международного консорциума** участников проекта, который привнесет в его бюджет недостающие 60 %.
- **Май 2010:** В SCK•CEN состоялся ввод в действие установки GUINEVERE – макета установки MYRRHA с нулевой мощностью.



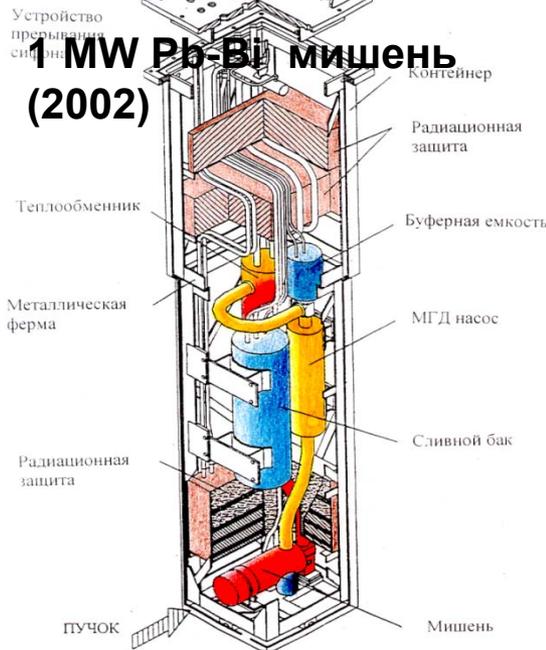
МНТЦ: ADS-проекты

ОИЯИ (Дубна)\ НИКИЭТ:
SAD – Предварительный
концептуальный проект
(2004-2005)



ФЭИ- ГИДРОПРЕСС

1 MW Pb-Bi мишень
(2002)



ОБЩИЙ ВИД МИШЕННОГО КОМПЛЕКСА

SCK/CEN (Mol, Belgium):

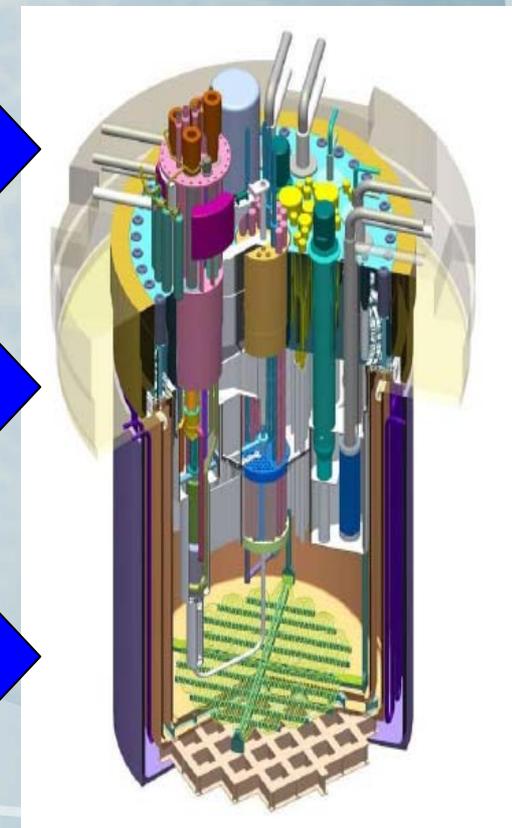
MYRRHA –

I S T C

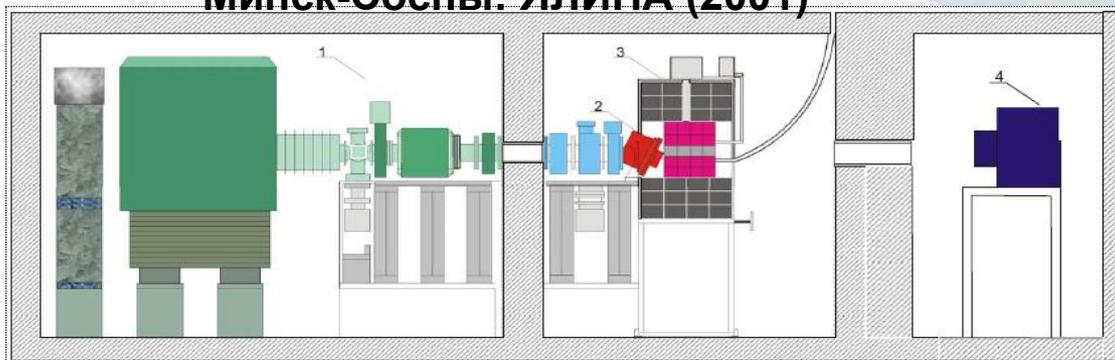


М Н Т Ц

Концептуальный проект –
2009



Минск-Сосны: ЯЛИНА (2001)

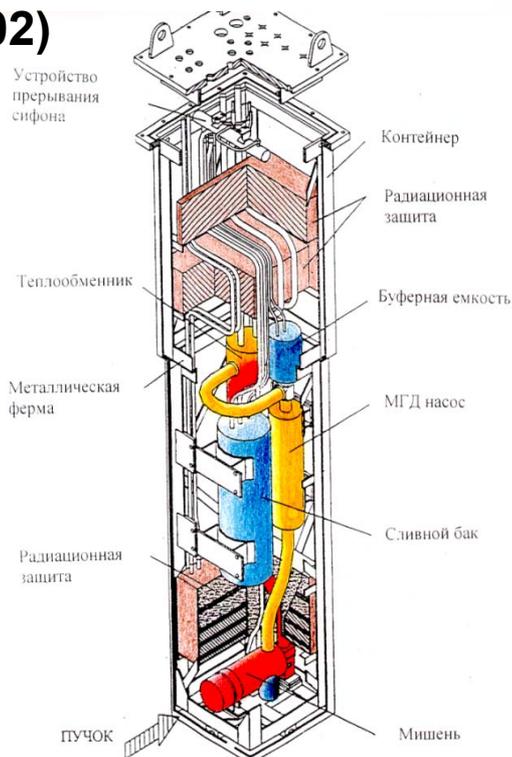


www.istc.ru

Системы трансмутации, ведомые ускорителем

ФЭИ: Пилотная 1 МВт нейтронная мишень (2002)

PSI: мишень 1 МВт "MegaPie" (2006)



ОБЩИЙ ВИД МИШЕННОГО КОМПЛЕКСА



Оптимальный вариант ядерного топливного цикла (SNETP) :

замкнутый топливный цикл

ПЛЮС

ADS



Уран
Pu
Минорные актиниды
Продукты деления
Маршрут
транспортировки

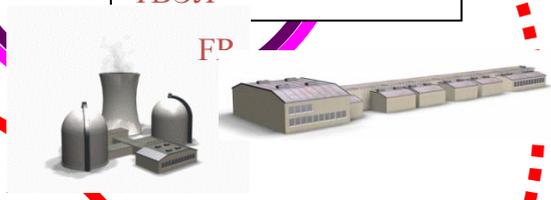


Временное хранилище
отработавшего топлива
на площадке

Усовершенствованный
процесс переработки

Изготовление
усовершенствованных
ТВЭЛ

Экстенсивное
развитие



Изготовление
МОХ-топлива

Изготовление ТВЭЛ

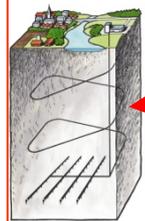
Обогащение урана

Переработка руды

Интенсивное
развитие



Остекловывание
отходов



Глобальные решения
Эффективное обеспечение
безопасности



Региональные решения
Эффективное обеспечение
безопасности и защиты

ADS-системы считаются практически осуществимым и достаточно простым решением для ядерного топливного цикла! Следовательно, возникает



вопрос:

Может ли ядерный синтез решить проблемы атомной энергетики? - проблемы генерации энергии и ЯТЦ (отходов)

Сегодня // завтра// когда ??

Ответ: сегодня и завтра - нет, не может.

На сегодняшний день нет ни одной практически подтвержденной идеи, способной привести к созданию энергетической ТЯ установки, которая удовлетворяла бы **необходимым и обоснованным требованиям энергосистем общего пользования.**



Может ли ядерный синтез решить проблемы атомной энергетики?

Существует несколько широко известных **«мифов»**, которые ассоциируются с понятием ядерного синтеза:

- **Неистощимый источник энергии:** в основе современной концепции ядерного синтеза лежит воспроизводство ^3H из ^6Li . Ресурсы лития являются ограничительным фактором. Запас энергии литиевых ресурсов, присутствующих в земной коре (с точки зрения ядерного синтеза), сопоставимы с запасом энергии урановых и ториевых ресурсов земной коры (для реакторов-размножителей).
- **Экологически чистый источник энергии.** Отходы, возникающие в результате активации нейтронами, представляют собой одну из серьезнейших проблем ядерного синтеза. Даже не являясь такими же долгоживущими, как актиниды, эти отходы веками сохраняют свои опасные свойства. К тому же, радиотоксичность трития и химическая токсичность ряда материалов (Be) создают весьма серьезные эксплуатационные проблемы.



Может ли ядерный синтез решить проблемы атомной энергетики?

(продолжение)

Существует несколько широко известных «мифов», которые ассоциируются с понятием ядерного синтеза:

- **Размеры играют роль.** Идея о том, что рентабельность ядерного синтеза (ТОКАМАК) подразумевает создание крупногабаритных установок, приобретает характер аксиомы. Едва ли найдутся технические устройства, которые человечество, за всю историю существования, не старалось бы масштабировать в той или иной мере.
- **«Гибридные» системы.** Комбинация термоядерного реактора с компонентами реактора деления существенно усложнит конструкцию реактора и blankets, поставив перед известными проблемами безопасности реактора и топливного цикла



Может ли ядерный синтез решить проблемы атомной энергетики?

(продолжение)

Сложности:

- Прежде, чем ядерный синтез станет жизнеспособным источником энергии, предстоит преодолеть целый ряд **СЕРЬЕЗНЕЙШИХ ПРОБЛЕМ**:
 - **Термостойкость**: материалы, участвующие в реакциях ядерного синтеза, должны обладать способностью длительное время выдерживать экстремально высокие температуры.
 - **Структура**: флюенс нейтронов высокой энергии, возникающий в результате реакций ядерного синтеза, приводит к охрупчиванию материалов, которое на порядок величины сильнее, чем в реакторах деления. Такие условия способны выдерживать только некоторые (токсичные) материалы (Be).
 - **Топливо**: нет убедительных доказательств того, что реактор ядерного синтеза может обеспечивать устойчивое воспроизводство трития. Участие делящихся материалов неизбежно!



Может ли ядерный синтез решить проблемы атомной энергетики?

(продолжение)

Сложности:

- Прежде, чем ядерный синтез станет жизнеспособным источником энергии, предстоит преодолеть целый ряд **СЕРЬЕЗНЕЙШИХ ПРОБЛЕМ:**
- **Надежность:** ни INF, ни ТОКАМАК не ассоциируются с какой-либо реально осуществимой концепцией реакторов ядерного синтеза, которая соответствовала бы требованиям энергетических реакторов промышленного масштаба. Более того, похоже, что существующие концепции и не рассчитаны на выполнение таких требований!
- **Сложность:** последние концепции требуют применения в электромагнитных системах сверхпроводящих (а следовательно – криогенных) систем, что ведет к их сложной комбинации с высокотемпературными компонентами энергетической части реактора.
- **Сложность:** режим работы ТЯР типа токамака периодический, с достаточно продолжительными паузами, что для энергетической машины явно затруднителен. Требуются исследования и демонстрации приемлемости.



В заключение:



- На данном этапе, пока ТЯР как энергетический реактор еще готовится к демонстрации, ADS может во многом служить экспериментальной базой для отработки как собственных, так и ТЯР технологий (нейтроника, материалы, компоненты, элементы ядерного цикла, и др.)
- ADS и ТЯР являются благодатными площадками для международного сотрудничества (история МНТЦ, ИТЭР – тому примеры)



СПАСИБО за ВНИМАНИЕ !

gudowski@istc.ru

