

**ЮБИЛЕЙ : 65-лет пуска Первой в мире АЭС в Обнинске –
время ПОДВЕДЕНИЯ ИТОГОВ развития ядерной энергетики
(ЯЭ), АНАЛИЗ пройденного пути**

Ветераны и Руководство
Торжественное заседание с перечислением достижений, как итога
пройденного пути
(Только хорошее – или ничего)

В.М.Мурогов

*Молодое поколение – должно видеть противоречия развития ЯЭ и их причины. «Развитие – единство и борьба противоречий.»
Наука необходима там, где необходимо разрешать противоречия , наблюдаемые в развитии.*

Если все прекрасно, нет проблем – то наука не нужна. Тогда нет развития, есть масштабные промышленные проекты, т.е. – эволюция, научный застой ,нет причин и необходимости инноваций. .Необходимы дисциплинированные исполнители и знание стандартов. Научный застой - творческие личности не востребованы .(Пример- отбор операторов АЭС)

Фактическая информация

За более чем 75 лет развития реакторостроения и затем ЯЭУ (АЭС) – ЯЭ стала промышленной отраслью, сравнимой по вкладу в производство электроэнергии в мире с гидроэнергетикой (до ~ 10-15 %).

Рост ядерных мощностей и строительных площадок

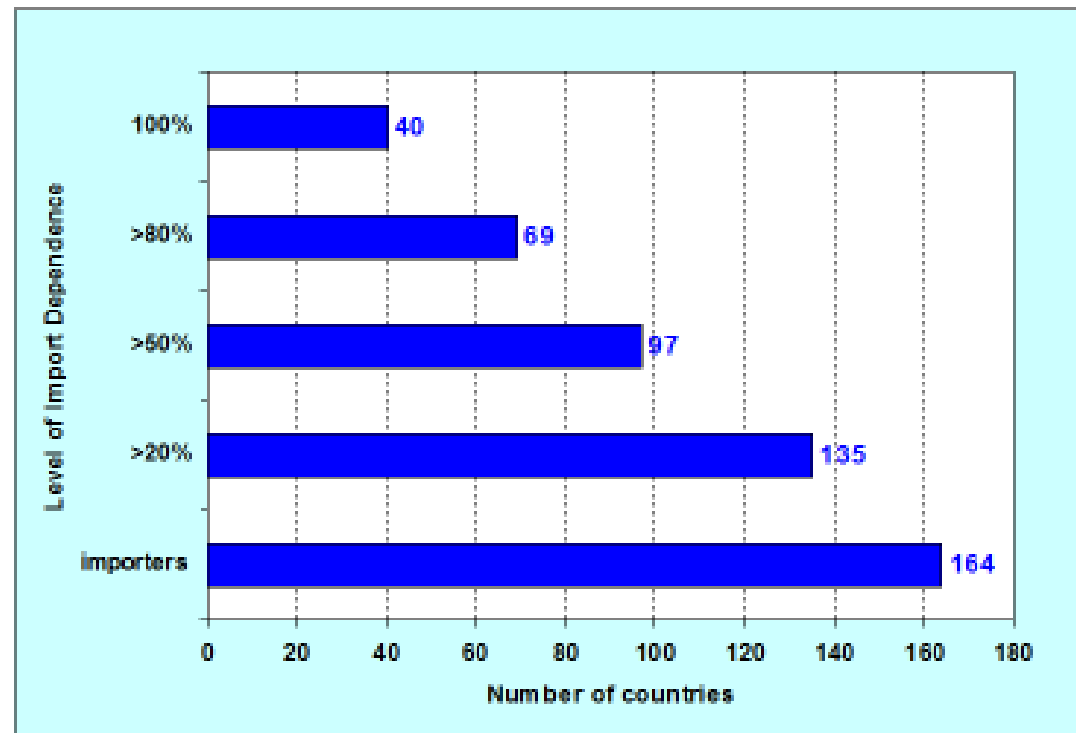


Рост мощностей АЭС в мире (по регионам) и число новых ежегодныхстроек АЭС

Фактическая информация

ЯЭ -Передовой фронт промышленного развития в 30 наиболее развитых в промышленном отношении стран. Под эгидой МАГАТЭ многие новые в ядерном отношении страны “NEWCOMERS” планируют развитие и использование ядерных технологий и строительство АЭС. В этой связи Росатом откликнулся на предложение стран построить 32 новых АЭС в 12 странах. Это очень важно, если учесть, что 100 стран в мире импортируют более 50% энергоресурсов, а 40 стран не имеют собственных источников энергии.

Energy Imported Dependence

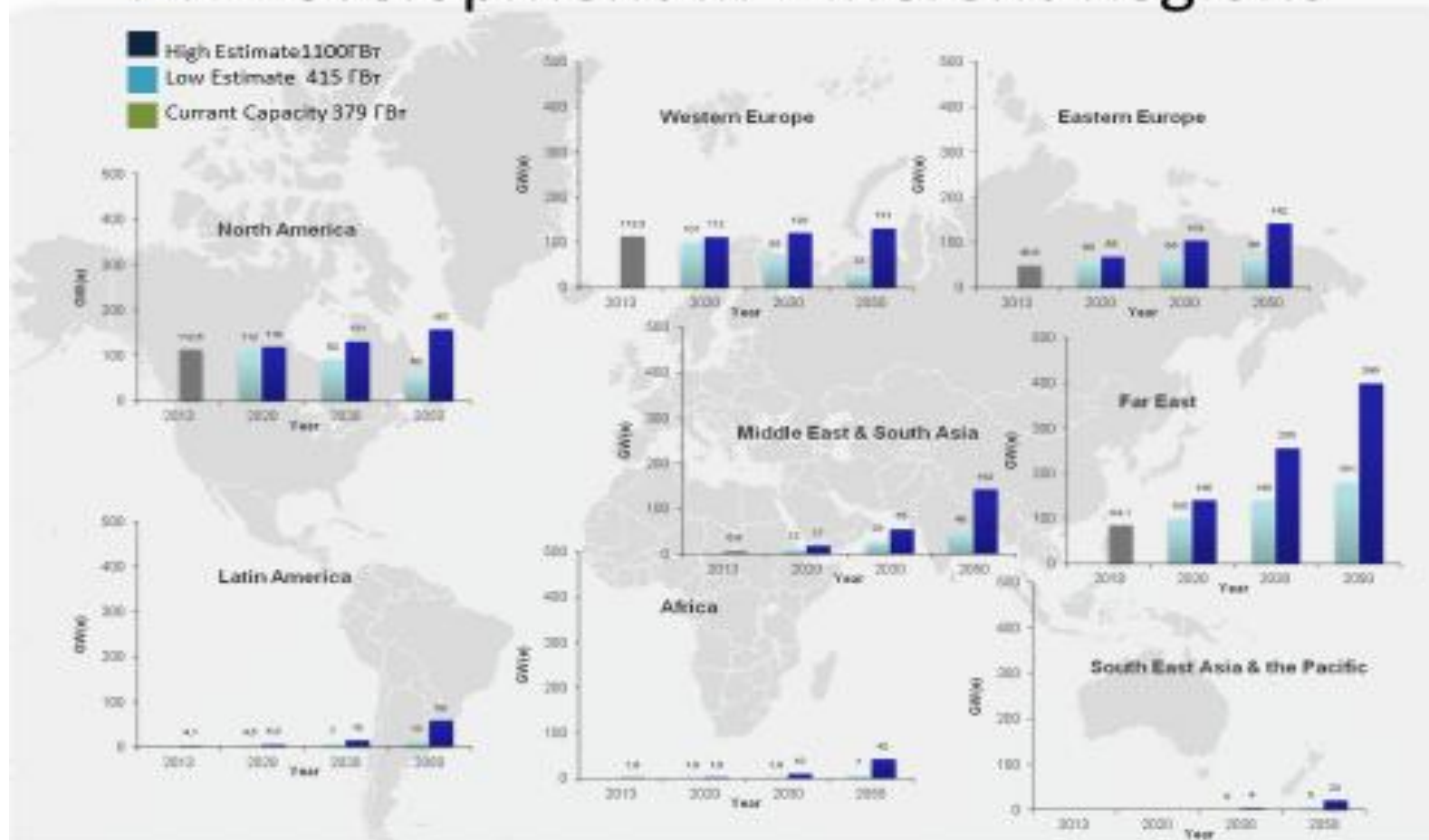


Энергетическая зависимость стран в мире.

Фактическая информация

На долю России сейчас приходится более 50% мирового ядерного «рынка»(проектирование и строительство АЭС , производство и поставки оборудования, топливных материалов, услуги по обогащению и т.п.)

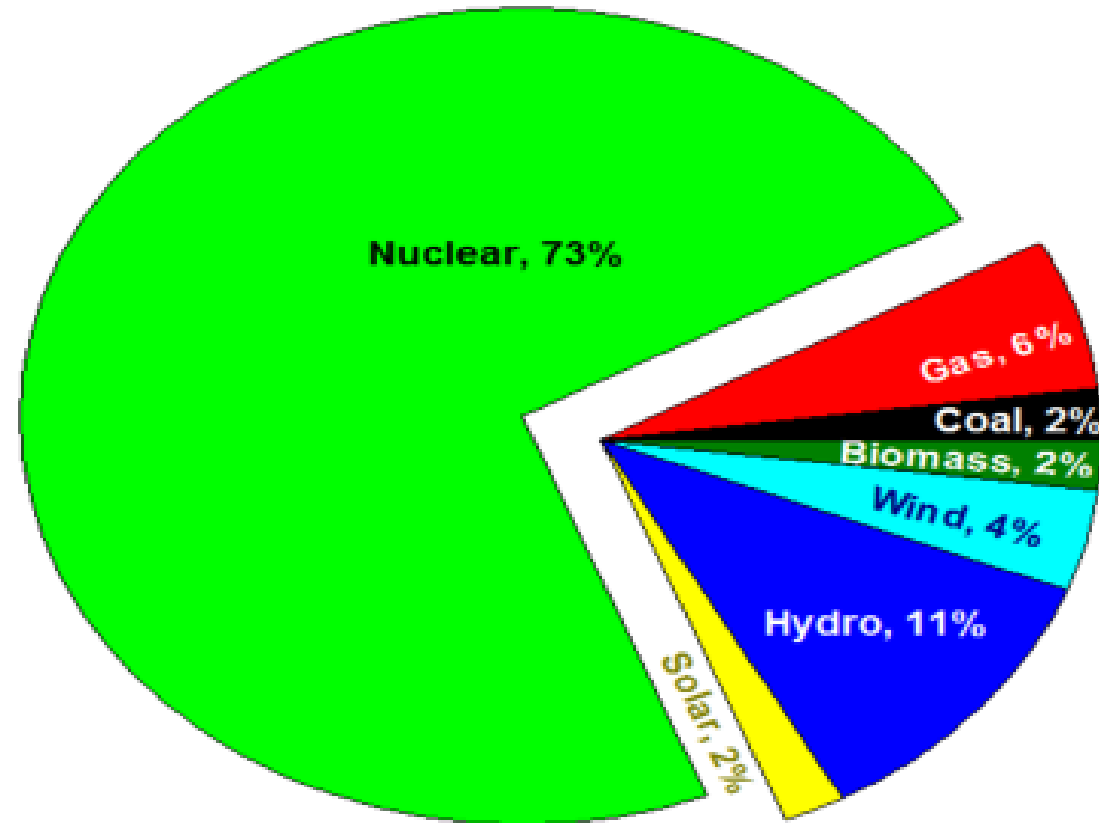
NP Development in Different Regions



Прогноз масштабов ЯЭ в мире по регионам (Max and Min)

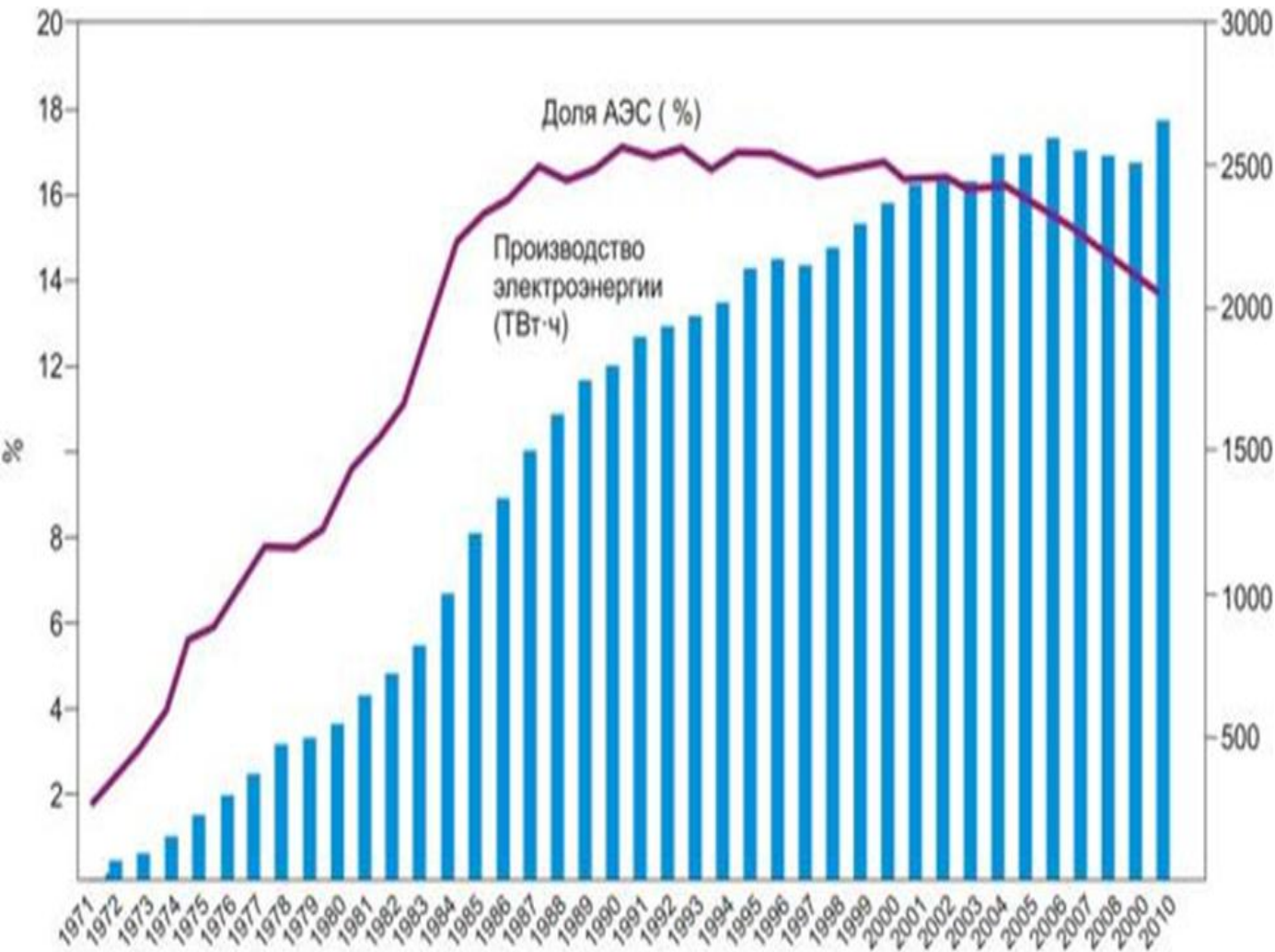
Фактическая информация

France: Population 65 million; EEC 436 TW h per year
or 736 W per Capita; HDI 0.901 or HDI Rank 24.

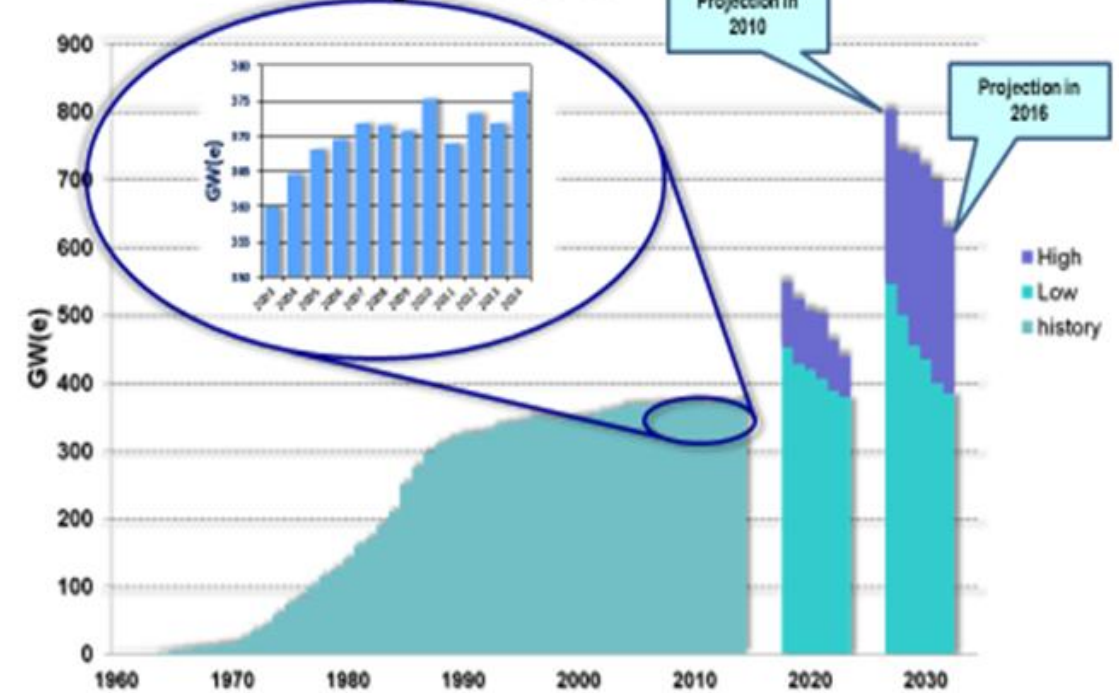


Электро-энергетический баланс Франции.(Pigo I.)

Фактическая информация



Nuclear Capacity 2020 – 2030: Projections



Ref.: Energy, Electricity and Nuclear Power Estimates for the Period up to 2050, 2015 Edition, IAEA

29 August 2016

Vladimir Krivontsev - IAEA

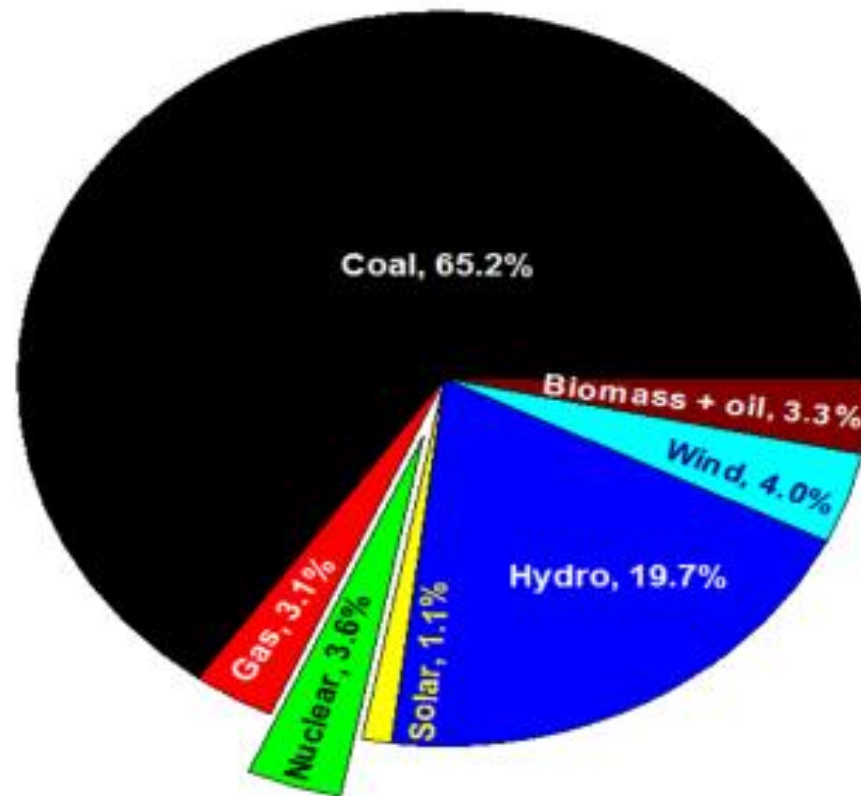
51

Масштаб и сокращение доли АЭС в производстве электроэнергии в мире в настоящее время и в перспективе до 2030г.(прогноз)

Фактическая информация

Такая «ядерная держава» как Китай – строит около 40 % всех АЭС в мире – до 20, но доля ЯЭ в электро-энергетическом балансе Китая менее 4%. Основная доля уголь – 65%, Гидро -20%, Ветер - 4%, ЯЭ – 3,5%.

China: Population 1,415 million; EEC 5,920 TW h per year or 510 W per Capita; HDI 0.738 or HDI Rank 86.



Электро-энергетический баланс Китая

Мы подходим к великому перевороту в жизни человечества, с которым не могут сравняться все им раньше пережитые. Не далеко время, когда человек получит в свои руки атомную энергию, такой источник силы, который даст ему возможность строить свою жизнь, как он захочет. Это может случиться в ближайшие годы, может случиться через столетие. Но ясно, что это должно быть.

Сумеет ли человек воспользоваться этой силой, направить ее на добро, а не на самоуничтожение?

Дорос ли он до умения использовать ту силу, которую неизбежно должна дать ему наука?

Ученые не должны закрывать глаза на возможные последствия их научной работы, научного прогресса. Они должны себя чувствовать ответственными за все последствия их открытий. Они должны связать свою работу с лучшей организацией всего "человечества".

В. И. ВЕРНАДСКИЙ 1922.

Фактическая информация

С 1945г началось промышленное производство ядерного оружия (ЯО) В мире было создано до 85 тыс.единиц ЯО. Построен атомный подводный (АПЛ) и надводный флот с ЯЭУ – более 1000 ЯР малой мощности. Плюс баллистические ракеты с ЯО – глобальное оружие ядерной триады.

THE TRINITY EXPLOSION, 0.016 SECONDS AFTER
DETONATION



1945

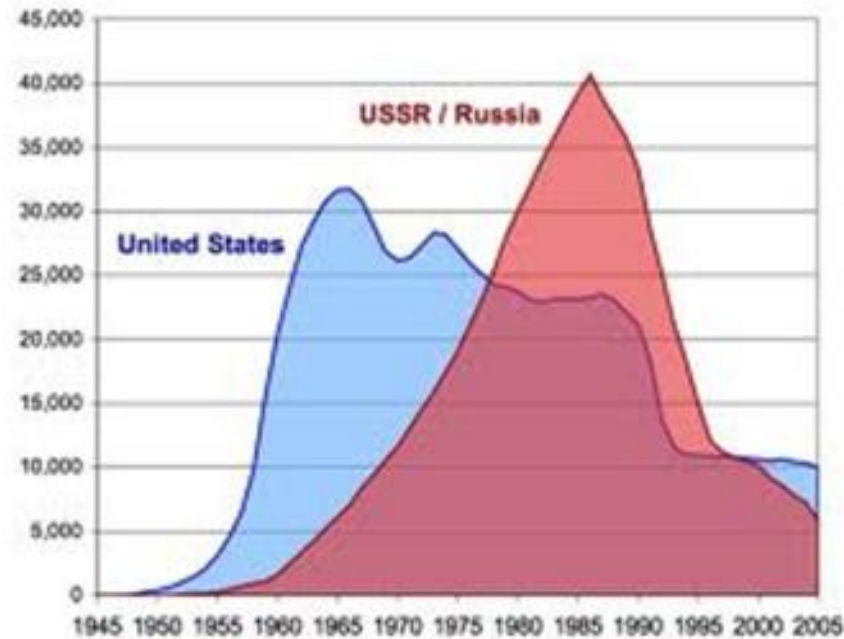
THE FIRST ATOMIC BOMB IN THE USSR



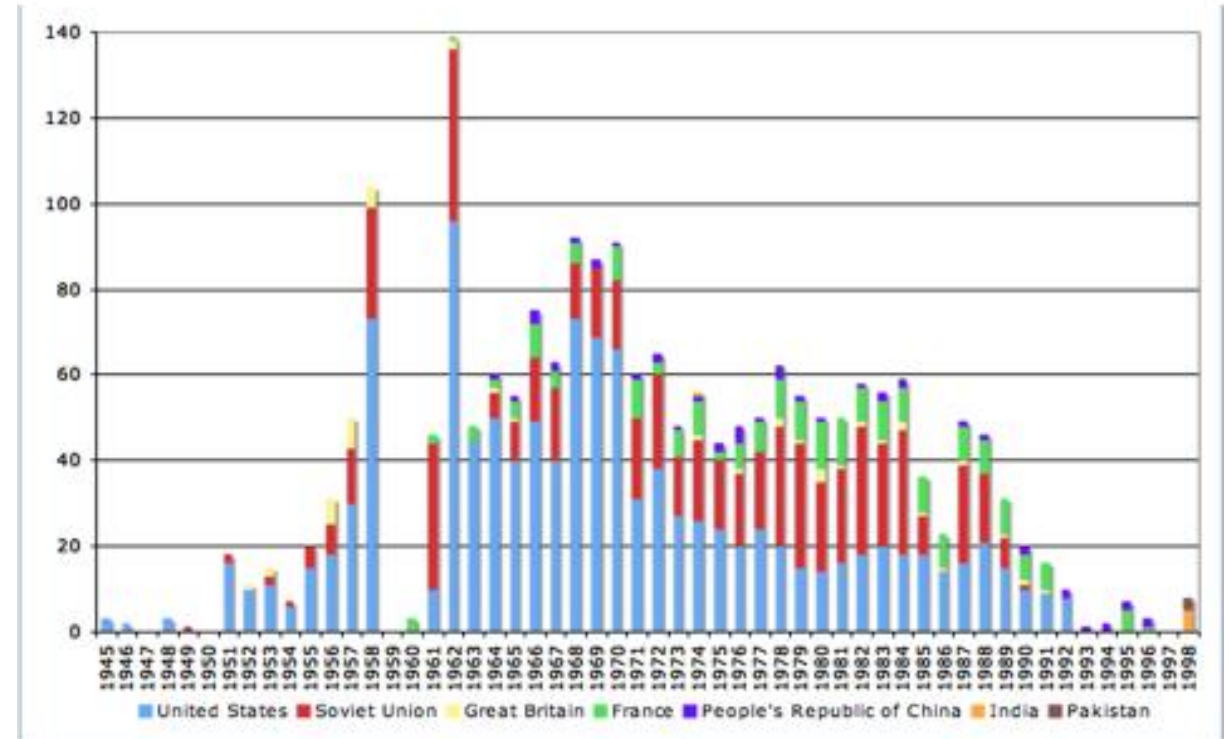
1953

Фактическая информация

US AND USSR NUCLEAR STOCKPILES



WORLDWIDE NUCLEAR TESTING, 1945-1998



Но энергетическую основу современная цивилизация по-прежнему составляет органическое топливо (нефть, газ, уголь) – более 85% общего энергетического баланс, до 70% в выработке электроэнергетике, при доле ЯЭ – около 6%.

ПРОБЛЕМЫ ПОЛНОМАСШТАБНОГО РАЗВИТИЯ ЯЭ

Одна из основных причин в том, что ЯЭ не решила свои внутренние проблемы. Попытаюсь показать вам уровень и объем проблем, без решения которых мы не достигнем «золотого века».

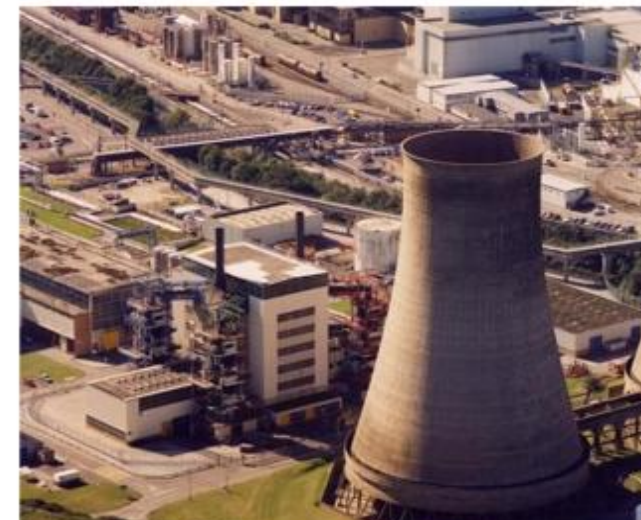
Мы начали массово развивать ядерную промышленность на основе конверсии оборонной ядерной технологии, не дождавшись достаточного уровня развития ядерной энергетической науки как Школы ядерных реакторов. Эта Реакторная Школа не успела вырасти, как мы ее капитализировали, в погоне за прибылью.

ПРОБЛЕМЫ ПОЛНОМАСШТАБНОГО РАЗВИТИЯ ЯЭ

THE FIRST NPP, 27 June 1954 , 5 MWe



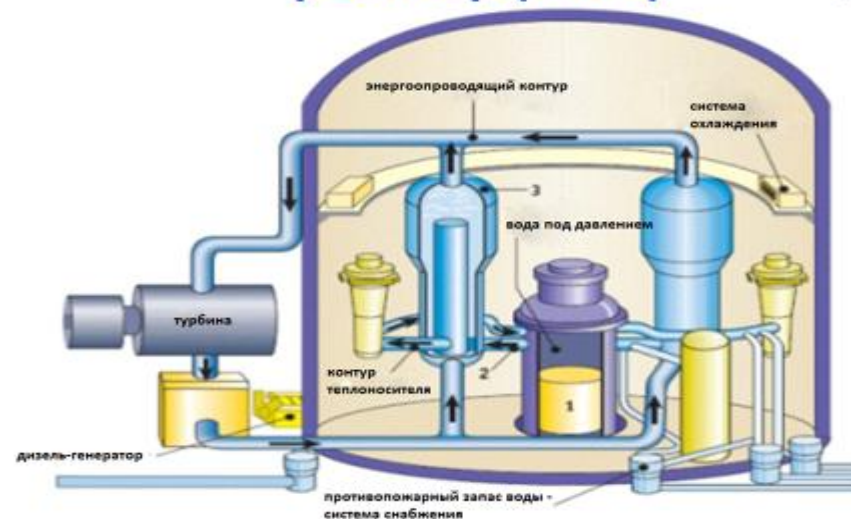
CALDER HALL , 1956 , 46MWe



SHIPPINGPORT, 1958, PWR , 68 MWe



Водо-водяной ядерный реактор (PWR)

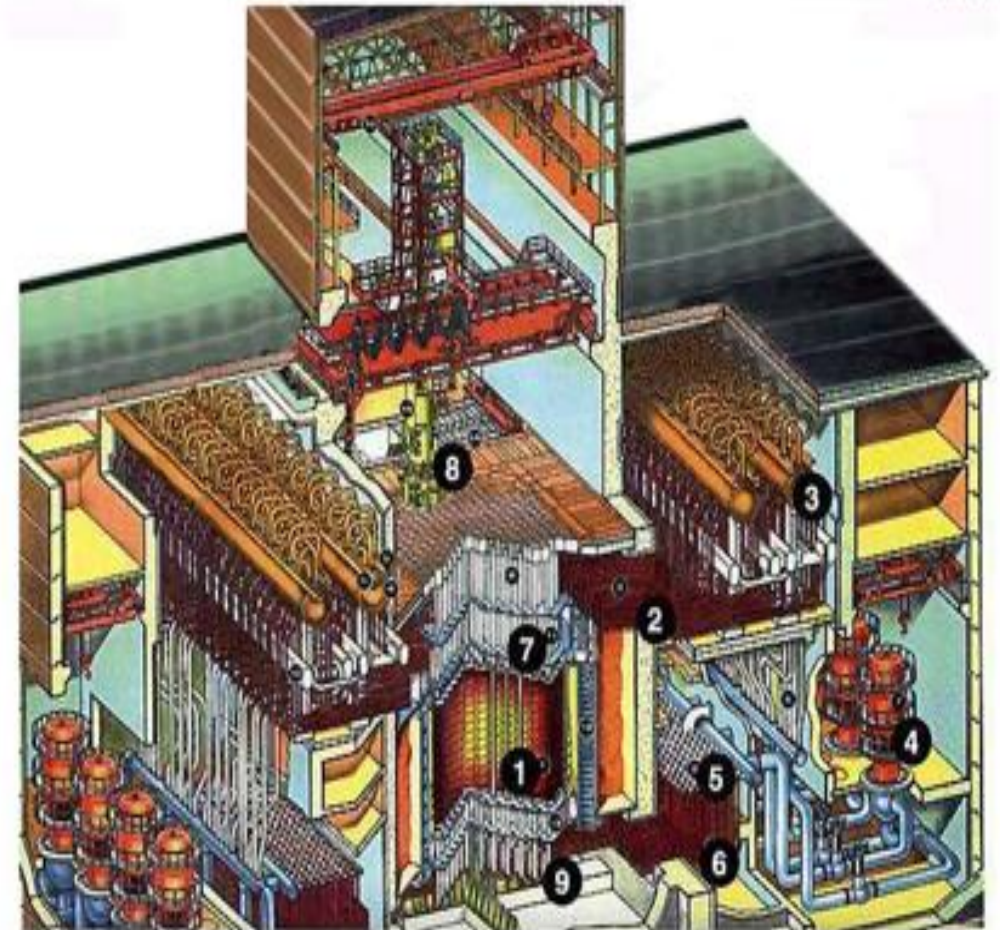


ПРОБЛЕМЫ ПОЛНОМАСШТАБНОГО РАЗВИТИЯ ЯЭ

Проектировщики, разработчики и конструкторы реакторов РБМК говорили и писали об их высокой безопасности: «Можно строить хоть на Красной площади». Ученые не обманывали, говоря об абсолютной безопасности РБМК. Они не обманывали, они сами не знали истины.

Они в это «верили», они еще не имели инструмента анализа «нейтроники» этих ЯР. Не только экспериментальных, но и корректных расчетных- математических программ. А как известно степень «вера» - это мера «незнания». Для детального корректного расчета таких систем, каким является реактор РБМК в РЗ приближении требовалось непрерывной работы около 800 часов лучшей нашей ЭВМ того времени -БЭСМ -6 .Проводившиеся упрощенные расчеты в Р1 приближении не могли в принципе обнаружить «тонкие» переходные процессы в ЯР РБМК -1000.

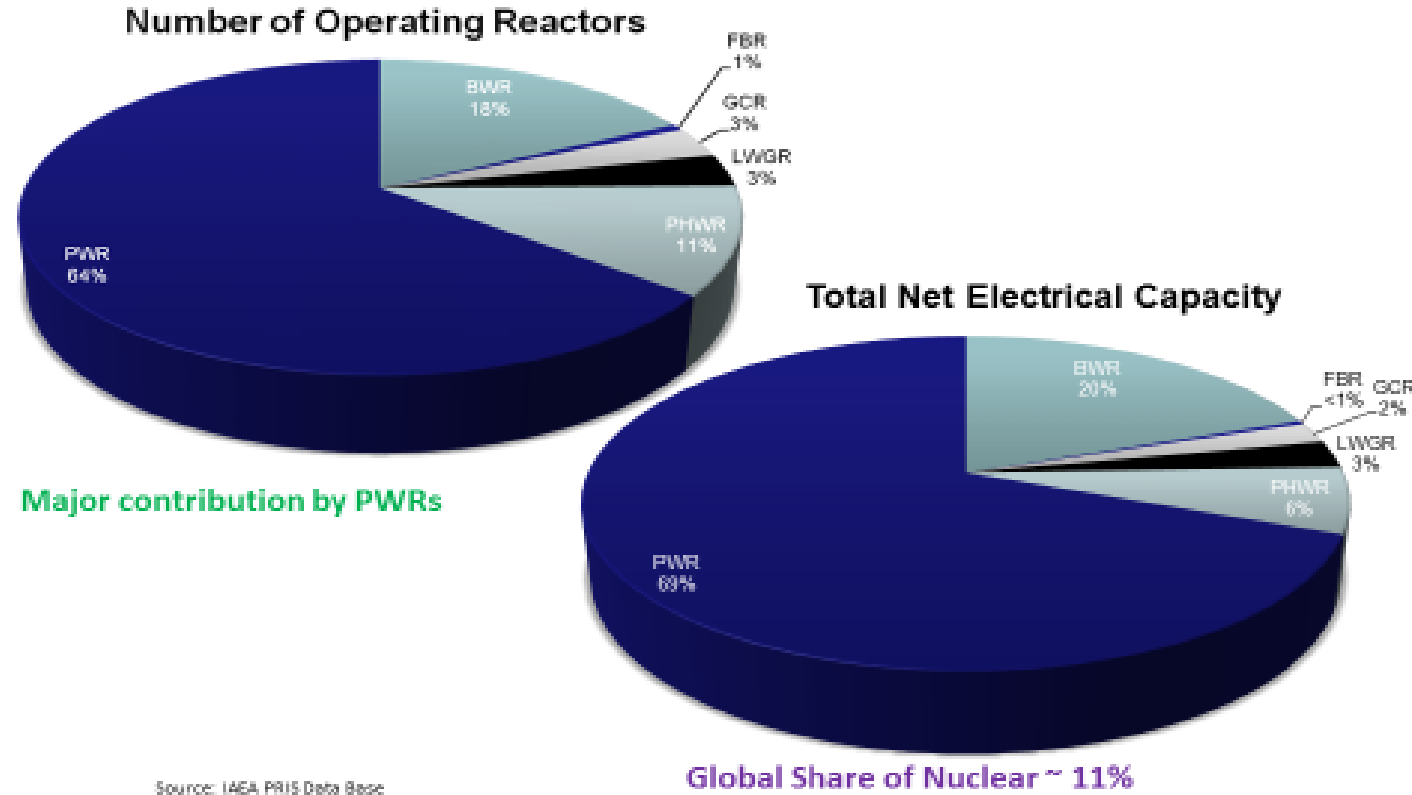
Реактор РБМК



ПРОБЛЕМЫ ПОЛНОМАСШТАБНОГО РАЗВИТИЯ ЯЭ

Сейчас 95% всех строящихся ядерных реакторов на АЭС в мире – водо-водяные PWR, BWR (ВВЭР). Это позволило, как уже упоминалось, реализовать развитие ЯЭ на базе промышленно освоенного оборудования для этих АЭС

Major Types



ПРОБЛЕМЫ ПОЛНОМАСШТАБНОГО РАЗВИТИЯ ЯЭ



Базовые документы двух основных международных проектов – ИНПРО (INPRO) и Генерация-4 (GIF-4)

ПРОБЛЕМЫ ПОЛНОМАСШТАБНОГО РАЗВИТИЯ ЯЭ

IV Международный форум (GIF)

- Международный проект (в настоящее время 13 членов) для поддержки R&D, в сроки от 15 до 20 лет и для достижения технической зрелости к 2030 г.
- 4 области GIF оценки:
 - ✓ устойчивость
 - ✓ Безопасность и надежность
 - ✓ экономика
 - ✓ Нераспространение и физическая защита
- Предназначен для различных областей
 - электричество, водород
 - Опреснение воды, тепло



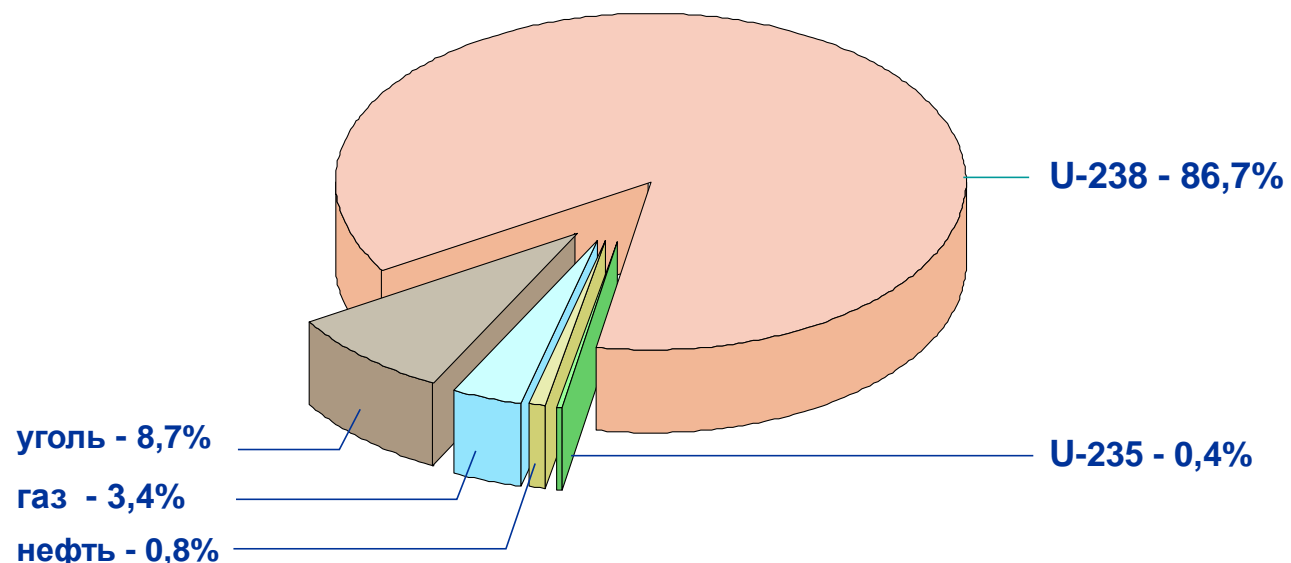
Устав GIF подписан в 2001, Sw 2002, Евратом
2003, + новые члены
Китай и Россия (ноябрь 2006)

Задачи создания и требования к АЭС 4-го поколения

ПРОБЛЕМЫ ПОЛНОМАСШТАБНОГО РАЗВИТИЯ ЯЭ

Ресурсы – основа энергетической стабильности. Запас энергетического урана на базе PWR, BWR менее запасов нефти., т.к. этот тип тепловых реакторов использует только около 0,5% энергетических запасов природного урана

ОТНОСИТЕЛЬНОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ СОДЕРЖАНИЕ ПРИРОДНЫХ ТОПЛИВНЫХ РЕСУРСОВ



Энергетический потенциал в мире традиционных энергоисточников и ЯЭ на уране-235.

ПРОБЛЕМЫ ПОЛНОМАСШТАБНОГО РАЗВИТИЯ ЯЭ

Будущий ЯТЦ ядерной энергетики 21 века (GEN - IV)

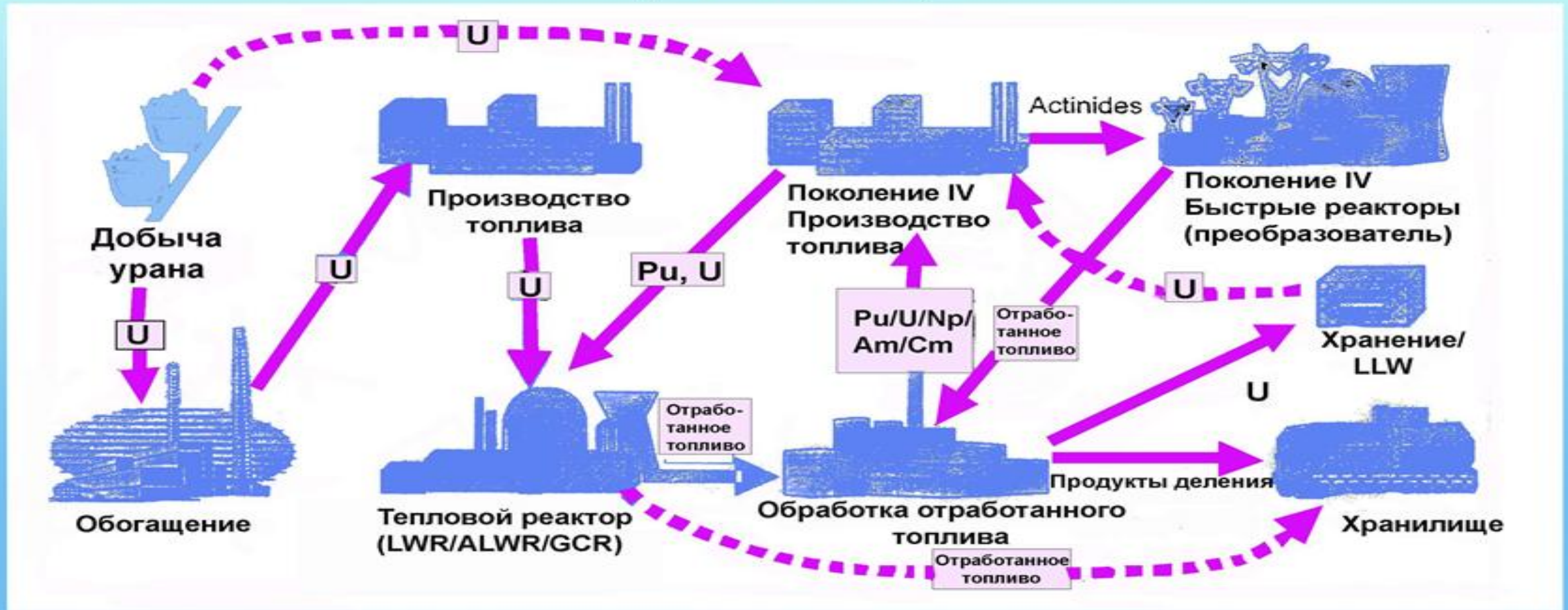


Схема реализации замкнутого ядерного топливного цикла (ЗЯТЦ)

ПРОБЛЕМЫ ПОЛНОМАСШТАБНОГО РАЗВИТИЯ ЯЭ

Как известно, первый реактор на быстрых нейтронах, охлаждаемый жидким металлом, был пущен ещё на заре развития ЯЭ: в 1946 г. (США, ANL) и в 1956 г. в СССР (БР-2, ФЭИ).

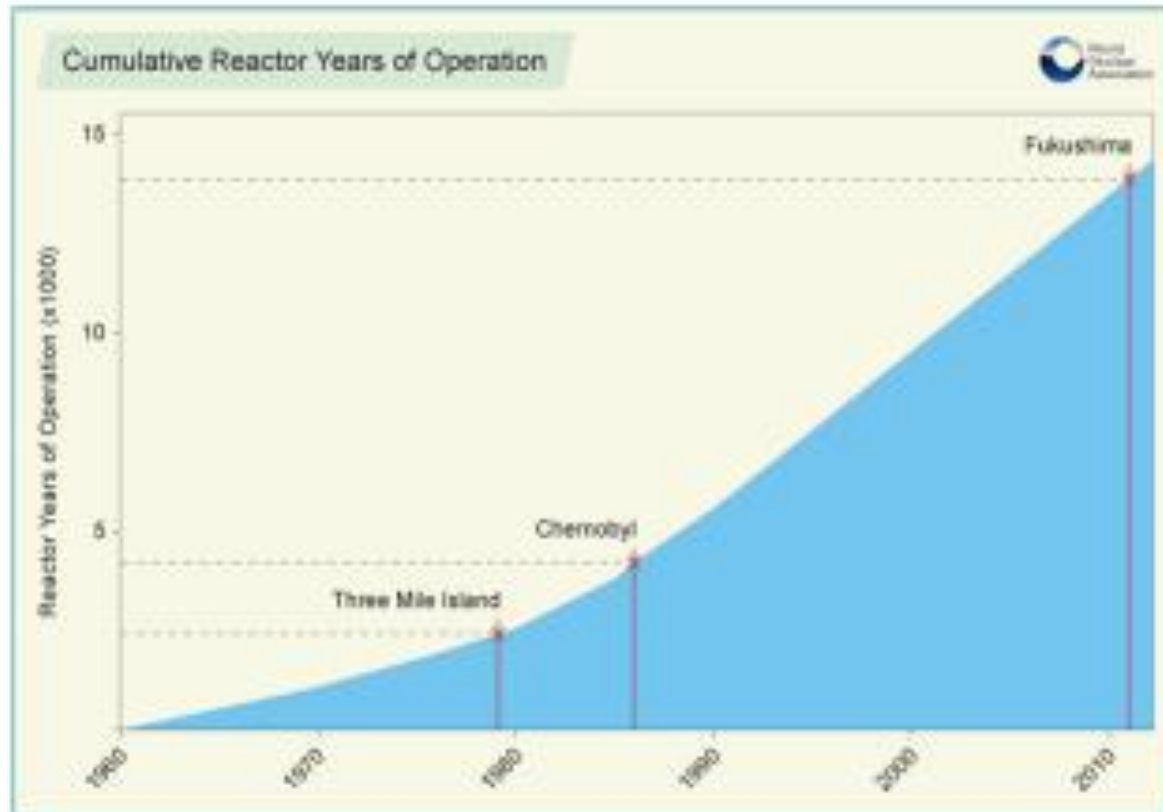
Прошло более 75 лет разработок и исследований - сейчас в мире работают только два энергетических реактора на быстрых нейтронах (БН-600, БН-800 в России) из общего числа блоков в ЯЭ – около 450.

Попытка в США 1964-68 годах разработать и реализовать на базе быстрого реактора EBR-2 замкнутый «безводный» ЯТЦ на основе инновационной интеграции БР и технологии пирометаллургии и электрохимии (Integral Fuel Cycle – IFC) оказалась промышленно и «рыночно» не приемлемой.

Безопасность установок ЯЭ

SAFETY ASPECT

Despite the accepted possibility of creating inherently safe nuclear reactors, the inherent safety concept was not implemented in full measure, which resulted in a number of severe accidents, including severe accident at Three Mile-Island NPP in the USA (March 28, 1979), the Chernobyl disaster in the USSR (April 26, 1986) and Fukushima accident (March 11, 2011) in Japan.



Безопасность установок ЯЭ

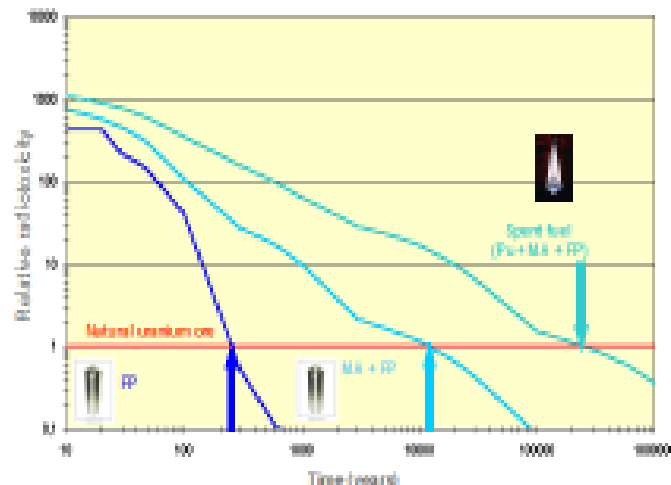
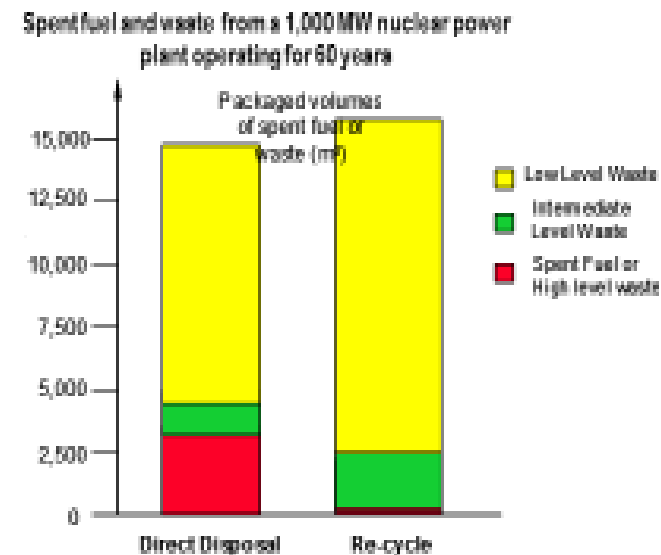
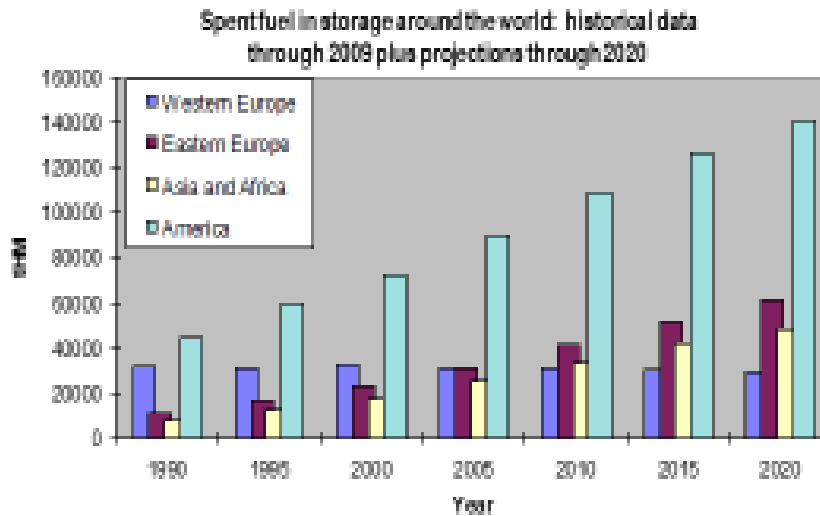
В результате при числе блоков АЭС менее 500 сохраняется приемлемый риск тяжелых ядерно- радиационных аварий на уровне ЯР $\sim 10^{-5}$ (4 круга катастроф (Маяк - Three Mile Island – Чернобыль – Фукусима)).

Если мы ожидаем, что ЯЭ сыграет свою роль «чистого» источника энергии в сохранении климата, то для этого уровень развития ЯЭ в мире по различным оценкам должен быть около 5 000 - 10 000 ГВт-эл к 2100 году (вырастет в 25 раз). Последние оценки, выполненные представителями ядерных отраслей лишь «старого света» показали, что для подготовки к решению этой задачи доля ЯЭ в странах ЕС и США должна составить 20-25%, т.е. к 2050 г надо дополнительно построить не менее 1500 ГВт (утроить существующие мощности).

Отходы радиоактивные

SNF AND WASTE MANAGEMENT ASPECT

Despite the possibility of providing total control and isolation of almost all radioactive waste, the problem of their ultimate disposal has not been currently solved in full.



CONSTITUENTS OF SPENT NUCLEAR FUEL

95.6% is uranium – can be disposed as Class C low-level waste or recycled

3% is stable or short-lived fission products that do not pose major disposal challenges

0.3% is cesium and strontium that decays in a few centuries (and are the primary near-term HLW heat source)

0.1% is long-lived iodine and technetium which can be transmuted

0.9% is plutonium which can be burned as fuel

0.1% is long-lived actinides which can be fissioned in fast spectrum reactors or accelerator-driven systems (ADS)

Отходы радиоактивные

Присутствие долгоживущих высокоактивных осколков и актиноидов (в первую очередь, плутония) – требует долговременного контролируемого захоронением радиоактивных отходов (на сотни тысяч и миллионы лет) – что не имеет аналогов в истории человечества. Не случайно в МАГАТЭ создана и развивается приоритетная программа сохранения ядерных знаний для следующих поколений, в том числе для уникального долговременного сохранения знаний по захоронению отходов.

Что касается технологии трансмутации долгоживущих высокоактивных изотопов, - то для реализации этого процесса требуются специальные быстрые реакторы с большим избытком нейтронов (так называемые быстрые реакторы – выжигатели), которые пока что существуют только на концептуальном уровне.

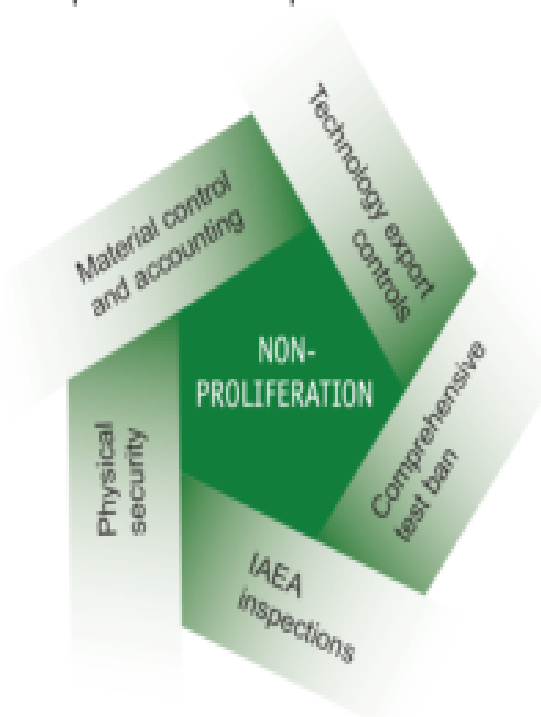
Ядерное нераспространение

Если перечисленные проблемы - ограниченность ресурсов и необходимость разработки реакторов-бридеров, развитие и реализации технологии реализации ЗЯТЦ, обращение с отходами, обеспечение приемлемого уровня ядерной и радиационной безопасности установок и технологий АЭС и ЗЯТЦ, по мнению многих экспертов являются технико-экономическими, т.е. решаемыми при наличии времени, средств и специалистов, то для такой проблемы, как обеспечение «ядерного нераспространения» не существует гарантии возможности 100% решения.

INFERENCE – 4

PROLIFERATION ASPECT - THE ROLE OF INTERNATIONAL COOPERATION

Despite the nuclear non-proliferation regime created and accepted by most states, it was not able to cope fully with the black market of nuclear materials and technologies and establish an international mechanism for preventing the emergence of new states possessing nuclear weapons with the expansion of nuclear technology around the world.



Reasons for nuclear proliferation

- Widening the number of countries that use nuclear power, nuclear capacity, and areas of applicability of nuclear technology.
- Capacity growth of "sensitive" nuclear fuel cycle enterprises.
- Growth in the number and variety of dangerous nuclear materials.
- The increase in traffic and the number of storage of dangerous nuclear materials.
- Reduced effectiveness of the international safeguards.
- Technological progress.
- Possible terrorist acts with the use of radioactive material.

Ядерное нераспространение

Известно, что наиболее «чувствительными» технологиями являются технологии ЯТЦ «обогащение» и «радиохимия». Дело в том, что переработка ОЯТ в замкнутом ЯТЦ приведет в рамках рассматриваемой сейчас двух-компонентной модели развития ЯЭ дополнительно к существующей «чувствительной» технологии обогащения урана еще одной «чувствительной» технологии - радиохимической переработке, т.е. к выделению в явном виде из «горы» облученного топлива двух потенциально опасных, с точки зрения нарушения режима нераспространения, материалов – плутония и высокоактивных радиоактивных материалов (продуктов деления, актиноидов и др.).

Ядерное нераспространение

INFERENCE- 4

International NFC Centers – as key element to solve

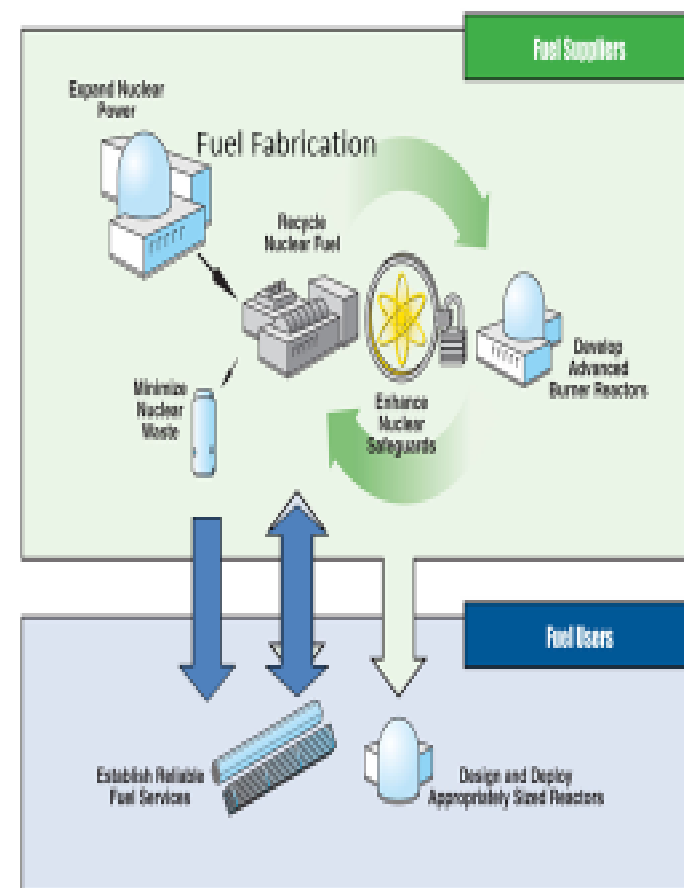
“Nonproliferation Problem”

As Example - This is the creation and development of:

- **International NFC Centers on enrichment** (as already exist in the Russian Federation) and supply for developing and small countries by low-enriched uranium fuel;
- **International NFC Centers for utilization and reprocessing SNF** of take-back spent nuclear fuel (this problem is also under discussion);
- **International NFC Centers for plutonium separation and management** : production of plutonium fuel (for fast reactors) and for operation fast neutron reactors;
- **International NFC Centers for production of uranium-233 in fast reactors (in thorium blankets)** and production of low-enriched uranium (artificial fuel for thermal reactors): U233+U238 -for long-term fuel supply developing and small countries ;
- **International NFC Centers for management of nuclear waste.**
(radioactive waste disposal)

Nonproliferation Arrangement- Civilian Nuclear Application

- **Fuel Suppliers: Fabricate fuel and reprocess spent fuel**
- **Fuel Users: Operate reactors, lease and return fuel**
- **IAEA: Provide safeguards and fuel assurances of nuclear fuel for states that do not pursue enrichment and reprocessing**



Ядерное нераспространение

Как отмечалось в Заявлениях экспертных групп МАГАТЭ и Конференций ДНЯО ,
долговременное принципиальное решение проблемы ядерного распространения
лежит в двух плоскостях:

*-Интернационализация ядерного топливного цикла (международные
Центры ЯТЦ),*

*-Воспитания нового менталитета как населения, так и руководства
стран, стремящихся к развитию ядерных технологий.*

Ядерное нераспространение

Таблица Заявление на Итоговой Конференции Договора о нераспространении ядерного оружия (ДНЯО 2010 г.)

Совместное заявление по вопросам роли образования в области нераспространения и разоружения сделано на заседании Главного комитета итоговой Конференции по ДНЯО 2010 г. 11 мая 2010 г. Его Превосходительство г-н Акио Сада, Чрезвычайный и Полномочный Посол, Постоянный представитель Японии на Конференции по разоружению

От имени 40 стран - Австралии, Австрии, Болгарии, Бразилии, Канады, Чили, Колумбии, Египта, Эстонии, Грузии, Германии, Греции, Гватемалы, Венгрии, Индонезии, Ирака, Ирландии, Италии, Японии, Казахстана, Кыргызстана, Литвы, Намибии, Новой Зеландии, Норвегии, Мексики, Монголии, Папуа-Новой Гвинеи, Перу, Филиппин, Польши, Португалии, Уругвая, России, Самоа, Шри-Ланки, Швеции, Швейцарии, Таиланда, государства Тонга.

Совместное заявление

"Образование является императивом для содействия разоружению и нераспространению, и, следовательно, для создания мира без ядерного оружия.

Образование прививает знания и критическое мышление людям и отдельным личностям. Образование может повысить осведомленность общественности, в особенности будущих поколений, о трагических последствиях применения ядерного оружия. Образование может также подвигнуть людей и отдельных личностей, граждан мира внести свой вклад в дело разоружения и нераспространения"

Выводы

Как писал еще в 1955 г. академик П.Л. Капица, нельзя без смены научно-технического принципа преобразования ядерной энергии в электрическую создать конкурентоспособные новые энергоблоки АЭС.

Достижение полномасштабного уровня развития ЯЭ, способной решить социально-экономические и экологические проблемы - вызовы, стоящие перед человечеством, потребует принципиально новой концепции развития ЯЭ и её ядерного топливного цикла . Не менее серьезной задачей нашего общества является воспитание нового менталитета, вступившего в ядерный век человечества.

Выводы

П.Л.КАПИЦА

(EPILOGUE)

- Приведенные материалы, мне кажется, указывают, на большое будущее ядерной энергетики даже если идти проторенным путем, беря за основу уже известный термодинамический цикл, разработанный и приспособленный для сжигания обычных горючих, как уголь, нефть и пр. Но естественно предвидеть, что **далекое будущее будет за энергетическими циклами, которые будут более полно отвечать специфике получения ядерной энергии.**
- **На всем этом поприще для ученых и инженеров открывается перспектива крупнейшей, интереснейшей и многообещающей творческой научной работы.** Успешно и быстро она может быть осуществлена только при дружном участии ученых всех стран мира работающих в самых разнообразных областях, как то в области: физики, электроники, металлургии, химии, электро-химии, тепло-техники и пр.
- Я верю, что не за горами то время, когда великое открытие – **ядерная энергия не будет проклинаться человечеством, но станет неотъемлемой частью нашей культуры и благосостояния, каким сейчас является электричество.**

• 1955



«,,,Достигнутые успехи науки и техники в использовании атомной энергии, несомненно, по своей значимости отмечают новую эру в культуре человечества, Главное значение технического использования атомных процессов это то, что в руки человечества дан новый могущественный источник энергии... То, что происходит сейчас, когда атомную энергию расценивают первым делом как средство уничтожения людей, так же мелко и нелепо, как видеть главное значение электричества в возможности постройки электрического стула. Атомная энергия для бомб будет так же мало применяться в будущем, как электричество для электроказни... Главное значение в применении атомной энергии лежит в мирных культурных целях, где ей предстоит революционизировать энергетику и ряд ведущих областей техники....» П.Л.Капица . Документы и материалы. «К истории мирного использования атомной энергии в СССР 1944-1951».Сборник. Обнинск. ГНЦ-ФЭИ. 1994.

Thanks for attention