

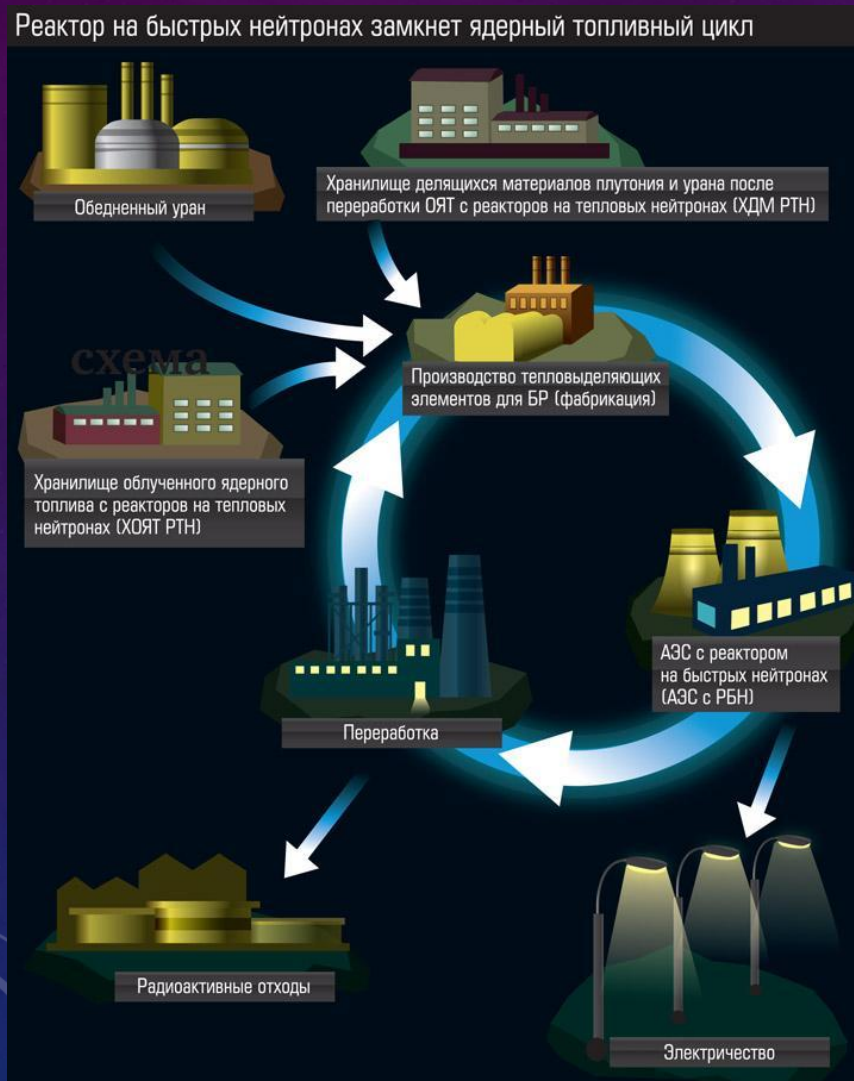


ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

ТОП-5 САМЫХ ПЕРСПЕКТИВНЫХ РАЗРАБОТОК АТОМНОЙ ОТРАСЛИ

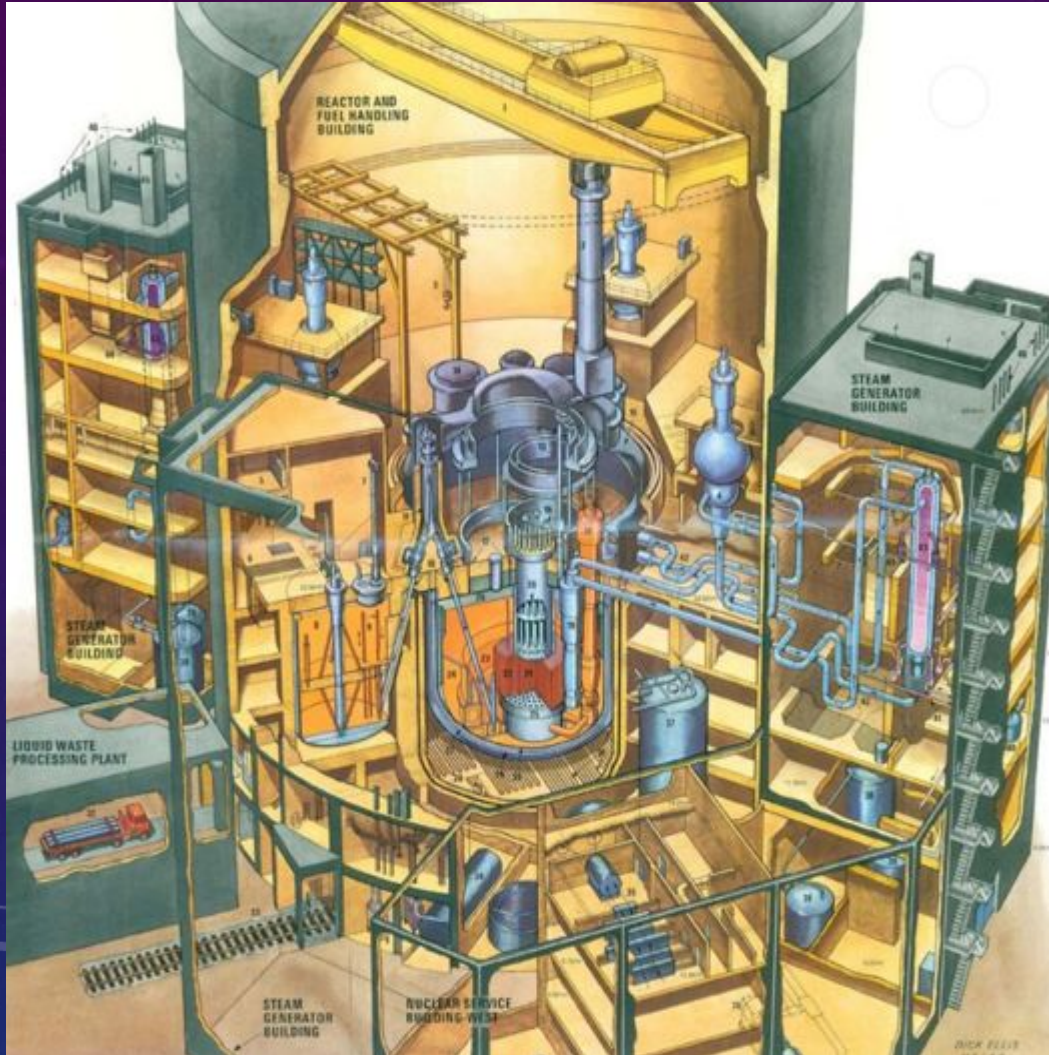


1. ДВУХКОМПОНЕНТНАЯ ЭНЕРГЕТИКА



- Двухкомпонентная ядерная энергетика, объединенная замкнутым топливным циклом, обеспечит кардинальное решение основных проблем ядерной энергетики: обращение с отработавшим топливом, с радиоактивными отходами и повышение эффективности использования природного урана.
- В двухкомпонентной системе одним из ключевых моментов является переработка ОЯТ легководных реакторов, после чего выделенные плутоний и младшие актиниды направляются в быстрый реактор для выжигания и получения новой энергии.
- Быстрый реактор в подобной системе решает следующие задачи:
 - производит ~1200 МВт(э) электроэнергии;
 - бридинг (размножение) ядерного топлива, то есть производит искусственное топливо (плутоний) в количестве большем, чем сгорает;
 - чистит реактор от младших актинидов, которые в предложенной системе не покидают топливный цикл.

2. ВНЕДРЕНИЕ ОБНОВЛЕННЫХ РЕАКТОРОВ НА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНАХ



- Перспективы широкого внедрения обновленных реакторов на быстрых нейтронах в России и зарубежных странах довольно ограничены. Эти реакторы отличаются более высокой удельной стоимостью по сравнению с традиционными ВВЭР/LWR. Например, по данным инвестпрограммы «Росэнергоатома», БН-800 обошёлся в 161 млн руб./МВт, что выше значений для ВВЭР-1200 на Нововоронежской АЭС-2 (114 млн руб./МВт).
- Ожидается, что БН-1200 окажется дешевле БН800, но этот проект только находится в разработке. И это речь идёт о реакторах с натриевым теплоносителем — наиболее развитом направлении реакторов на быстрых нейтронах. (Если посмотреть на реакторы со свинцовым или свинцово-висмутовым теплоносителем, то они находятся на стадии идеи.)
- Сегодня быстрые натриевые реакторы с оксидным или более плотным топливом из смеси U238 и Pu239 замерли в шаге от того, что бы начать заменять реакторы с водой под давлением, и довольно широко включены в планы развития атомной энергетики четырех стран, которые ее действительно развивают - Индии, Китая, России и Южной Кореи. Ключевыми установками по этому направлению на сегодня являются БН-600, БН-800 в России, планируемые МБИР у нас же, и опытно-промышленные установки PFBR в Индии, ASTRID во Франции.

3. ЗАМЕНА ВСЕЙ УГЛЕВОДОРОДНОЙ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ



- Чтобы полностью заменить углеводородную энергетику, необходимо до конца века построить примерно 19 тыс. реакторов мощностью по 1 ГВт, то есть иметь установленную мощность АЭС 19 ТВт (1 ТВт=1000 ГВт), что почти в 50 раз больше, чем сейчас. Для этого авторы сценария предлагают в тепловых реакторах PWR и тяжеловодных реакторах PHWR нарабатывать плутоний для запуска реакторов БН.
- Для того чтобы строить 100 реакторов PWR в год, нужно \$ 300–400 млрд инвестиций. Такие деньги сейчас тратятся ежегодно на возобновляемую энергетику, значит, это не фантастические цифры. Чтобы строить ежегодно 300 реакторов на быстрых нейтронах, нужен уже \$ 1 трлн. Это всего 1% мирового ВВП — тоже не такая уж страшная цифра. Приведенная стоимость электроэнергии РБН будет около \$ 80 за 1 МВт·ч.
- Конечно, это экстремальный сценарий, и вряд ли политики готовы поддержать его. Но смелость этого сценария обоснована технологическими и экономическими реалиями.

4. ИНЕРЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

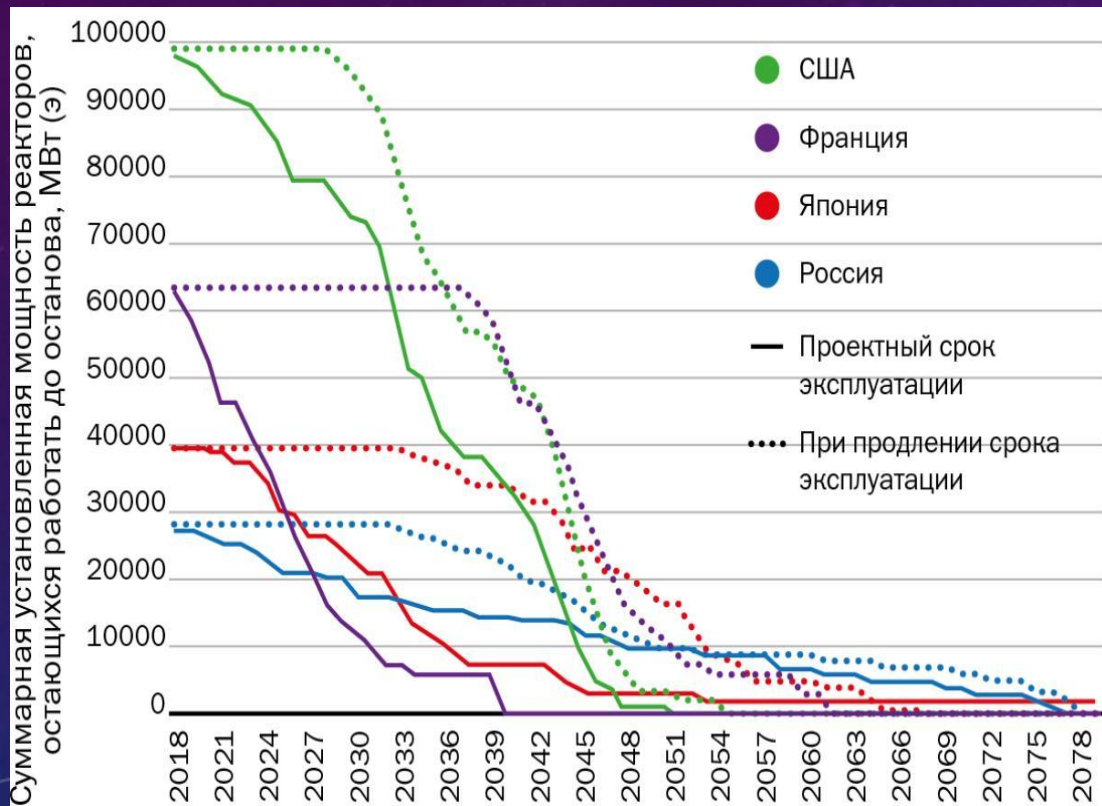


Ядерная энергетика развивается с помощью тепловых реакторов (третьего или поколения IV) теми темпами, которые обеспечиваются имеющейся промышленной базой и политической поддержкой.

- В конце 2017 года Всемирная ядерная ассоциация (WNA) представила амбициозную программу развития мировой энергетике «Гармония». Цель этой программы — достичь к 2050 году 25% мирового производства электроэнергии на АЭС (сейчас 10,5%). Для этого потребуются создать более 1000 ГВт новых ядерных мощностей. То есть придется строить сначала по 10 реакторов в год, затем дойти до 33 реакторов (в последние пять лет вводилось по 5–10 реакторов в год). Однако в вышеописанных сценариях не учитывалась ограниченность ресурсов природного урана.
- Ресурсы самого дешевого урана в ближайшие годы будут выработаны практически полностью; уже началось использование ресурсов себестоимостью до \$ 80 за 1 кг и выше. Чем выше стартовый темп развития ядерной энергетике, тем быстрее исчерпываются ресурсы урана. Так, для реализации программы «Гармония» на тепловых реакторах к 2050 году потребуется около 5,5 мегатонны природного урана из разведанных 8 мегатонн с себестоимостью добычи до \$ 260 за 1 кг.
- В связи с исчерпанием дешевых ресурсов урана можно ожидать в ближайшие годы роста цен на природный уран. Таким образом, инерционные сценарии развития ядерной энергетике на тепловых реакторах не



5. РАССМОТРЕТЬ В ДИНАМИКУ ИСЧЕРПАНИЯ ТРАДИЦИОННЫХ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ И ЗАДУМАТЬСЯ О «НОВЫХ» ЭНЕРГОРЕСУРСАХ ДЛЯ АЭС



Следует отметить важный показатель развития энергетики и экономики в стране — наличие у нее энергетических ресурсов и обеспеченность ими на длительную перспективу. По нефти лидируют Венесуэла (46,5 млрд тонн), Саудовская Аравия (36,5 млрд тонн), Канада (28 млрд тонн). Ресурсы России — 11,9 млрд тонн нефти. По запасам природного газа в тройке лидеров — Иран (33,6 трлн м³), Россия (32,9 трлн м³), Катар (25,1 трлн м³).

- Мировые невозобновляемые ресурсы (углеводороды и уран), по геологическим данным, составляют 45 тыс. ЭДж. Их потребление достигло 525 ЭДж в год и непрерывно возрастает. Ряд математических моделей показывают, что в 2030—2040-х годах будет достигнут пик предложения углеводородного топлива и урана. Последует довольно быстрый спад, и к концу века традиционные ископаемые ресурсы будут в значительной степени исчерпаны.
- Напротив, потребность в первичной энергии в мире растет примерно на 1,5% в год. Поэтому после 2040-х годов возникнет заметный, постоянно возрастающий дефицит первичной (традиционной) энергии; чем существеннее будут расти потребности в ней, тем выше окажется дефицит.