

УДК 621.039.009

**ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ  
АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ  
STRATEGIC DIRECTIONS OF THE REPUBLIC OF BELARUS IN THE  
FIELD OF ENERGY-SAVING LIGHTING**

Барановский В.Д.

Научный руководитель – Е.Н. Савкова, к.т.н., доцент  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск, Республика Беларусь

*savkova@bntu.by*

V.Baranovsky

Supervisor – Y. Saukova, Candidate of Technical Sciences, Docent  
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

*Аннотация:* Рассмотрены основные положения и цели концепции развития атомной энергетики в РБ и ЕАЭС, а также в мире.

*Abstract:* The main provisions and goals of the concept of nuclear energy development in the Republic of Belarus and the EAEU, as well as in the world, are considered.

*Ключевые слова:* атомная энергетика, Концепции развития атомной энергетики, источники топлива, ядерный реактор

*Keywords:* Atomic power station, nuclear energy industry, Concepts of nuclear energy development, fuel sources.

### **Введение**

По данным официального сайта [1], В настоящее время в 32 странах мира эксплуатируется 440 ядерных реакторов (энергоблоков) общей мощностью 394 ГВт, из которых 54 находятся в стадии строительства, 201 закрыт. В России 11 действующих атомных электростанций, на которых работают 37 электростанций. Около 17% мировой выработки электроэнергии приходится на атомные электростанции.

Эта отрасль также занимает третье место после угольной и гидроэнергетики. Рейтинг возглавляют Соединенные Штаты, за ними следуют Франция и Китай.

По доле электроэнергии, вырабатываемой на атомных электростанциях, Франция лидирует примерно на 80%, например, в США ее доля в общем энергетическом балансе страны составляет около 20%, а в Китае - 4%. Атомная энергетика в этой стране (Франция) развивается систематически и неуклонно. Здесь эксплуатируются 59 атомных электростанций общей электрической мощностью около 70 ГВт, которые вырабатывают 78% от общего объема электроэнергии в стране.

Крупнейшей атомной электростанцией в мире в настоящее время является Южнокорейская атомная электростанция "Кори" (с учетом новых блоков "Шин-Кори"); ранее это была временно закрытая японская атомная электростанция "Касивадзаки-Карива" [1].

## **Основная часть**

### **Развитие ядерной энергетики в ЕАЭС**

Ядерная энергетика имеет большое будущее в ЕАЭС. Для этого есть необходимые предпосылки. Таким образом, запасы урана в Казахстане и России составляют почти четверть мировых запасов. По данным Всемирной ядерной ассоциации, доля производства урана в этих странах достигает почти половины мирового производства. А по установленной мощности атомных электростанций страны ЕАЭС занимают второе место в мире.

Пресс-конференция с главой Росатома Алексеем Лихачевым состоялась 3 февраля 2023 года. В котором он рассказал о своем желании помочь своим соседям по ЕАЭС, внедрив в них передовые технологии. "Атом в целом и в двусторонних отношениях с каждой из стран-участниц - Беларусью, Арменией, Казахстаном, Киргизией - прочно стоит на повестке дня ЕВРАЗЭС - все они напрямую связывают свои планы развития с ядерной энергетикой, с ядерными компетенциями, каждая из этих стран является нашим хорошим партнером", - сказал Лихачев журналистам в Алматы.

Он говорит, что их объединяет плодотворное прошлое, и надеется на хорошие перспективы на будущее. "И мы планируем внедрить все технологии, которые есть сейчас у "Росатома", в первую очередь в домашних условиях, но параллельно мы будем предлагать их и нашим соседям", - сказал Лихачев. Он добавил, что "ведутся переговоры практически со всеми странами о создании атомных электростанций на основе нашего нынешнего бестселлера ВВЭР-1200 как малой, так и средней мощности".

Он отметил, что Росатом связан с Казахстаном как серьезными проектами, так и сотрудничеством, основанным на доверии, в области добычи урана. "В целом есть большие планы на весь топливный цикл, в том числе в интересах поставок в третьи страны. Поэтому мы проводим наши переговоры на полях Евразийского межправительственного саммита и активно участвуем в двусторонних контактах", - сказал Лихачев.[2]

### **Немного информации о Беларуси**

Официальный запуск первой энергоблока Белорусской АЭС состоялся 7 ноября 2020 года при участии Александра Лукашенко. Строительство второй электростанции планируется завершить в 2023 году. Основным партнером Беларуси в проекте атомной электростанции является российская компания "Атомстройэкспорт"; Россия предоставила Беларуси кредит на строительство в размере 10 миллиардов долларов сроком на 25 лет. По состоянию на 1 марта 2021 года было использовано кредитное финансирование на сумму 4,7 миллиарда долларов. Общая сметная стоимость строительства составила около 6 миллиардов долларов. [3]

Беларусь также является членом МАГАТЭ с момента его основания в 1957 году. Наша страна является членом подавляющего большинства международных конвенций, заключенных под эгидой МАГАТЭ, в том числе Конвенции о ядерной безопасности, Конвенции о немедленном уведомлении о ядерной аварии, Конвенции о помощи в случае ядерной аварии или радиационной аварии, Объединенной конвенции о безопасности отработавшего ядерного топлива.

Обращение с топливом и безопасность при обращении с радиоактивными отходами, Венская конвенция об ответственности гражданской авиации за ядерный ущерб, Конвенция о физической защите ядерных материалов.

Беларусь и МАГАТЭ подписали соглашение о применении гарантий, связанных с Договором о нераспространении ядерного оружия, в соответствии с которым регулярные инспекции МАГАТЭ будут проводиться на территории Беларуси.

Делегация Беларуси традиционно принимает участие в ежегодных заседаниях Генеральной конференции агентства. [4]

### **Торий**

В последнее время решили рассмотреть торий, в качестве источника топлива, для ядерных реакторов. Поскольку может быть более доступной и эффективной заменой урану, однако также есть свои минусы. Торий примерно в три-четыре раза более распространен в природе, чем уран, но исторически не нашел широкого применения в промышленности и энергетике. Отчасти это объясняется тем, что торий как таковой не является ядерным топливом, но может быть использован для его создания. Торий-232 — единственный встречающийся в природе изотоп тория — является расщепляющимся, но не делящимся материалом. Это означает, что для расщепления атомных ядер тория и выделения энергии, используемой для производства электричества, необходимы высокоэнергетические нейтроны. Однако облучение тория-232 вызывает в нем ряд ядерных реакций, в результате которых образуется уран-233 — делящийся материал, который можно использовать в качестве топлива для ядерных реакторов.

В августе 2021 года Китай объявил о завершении строительства своего первого экспериментального ядерного реактора на основе тория. Реактор, расположенный на севере страны посреди пустыни Гоби, будет проходить испытания в течение нескольких последующих лет. Если эксперимент окажется успешным, Пекин планирует построить еще один реактор, для обеспечения 100к хозяйств.

### **Преимущества**

Количество делящегося материала (урана-233), образующегося во время работы реактора с водяным охлаждением или реактора на расплаве соли, может превышать количество израсходованного.

Плюс, безусловно, плюс в том, что его в три раза больше, чем урана, в природе. "Благодаря своей доступности и способности производить делящийся материал, торий может стать долгосрочным решением энергетических проблем человечества", — говорит Кайлаш Агарвал, эксперт МАГАТЭ по ядерному топливному циклу.

Следующим плюсом является его экологичность. Ядерные топливные реакторы обычно не выделяют парниковых газов, но они более экологичны с точки зрения отходов, поскольку производят меньше отходов.

### **Недостатки**

Однако существует ряд экономических и технических препятствий, которые затрудняют использование тория. Несмотря на его изобилие, добыча этого металла в настоящее время довольно дорога.

"Минерал монацит, который является основным источником различных редкоземельных элементов, также является основным источником тория", — говорит Марк Михаласки, эксперт МАГАТЭ по урановым ресурсам. - Монацит не был бы получен только из-за содержания в нем тория, если бы не текущий спрос на редкоземельные элементы. Торий является побочным продуктом, и добыча тория требует использования более дорогих методов, чем добыча урана. Следовательно, количество тория, которое можно извлечь из Земли экономически эффективным способом, в настоящее время меньше, чем количество урана. Однако ситуация может измениться, если спрос на торий и его использование в ядерной энергетике возрастет".

"Проблема с использованием тория заключается в том, что его трудно перерабатывать", - говорит Анжелика Хапера, технический директор МАГАТЭ по разработке ядерного топлива и установкам топливного цикла. "Торий, как воспроизводимый, но неделимый материал, нуждается в вспомогательных материалах, таких как уран или плутоний, для запуска и поддержания цепной реакции".

"Чтобы удовлетворить растущий спрос на энергию и достичь глобальных климатических целей, мир ищет альтернативные, устойчивые и надежные способы производства энергии. Использование тория может быть одним из них, отмечает Клемент Хилл, руководитель секции МАГАТЭ. "Мы продолжим наши исследования, чтобы предоставить надежные и научно обоснованные результаты тем, кто заинтересован в работе с торием".[5]

### **Создание замкнутого ядерного цикла**

В настоящее время развитые страны ядерной энергетике отдают предпочтение замкнутому ядерному топливному циклу (IAC) из-за интенсивного совершенствования существующих конструкций ядерных реакторов (эволюционных систем) и разработки реакторов четвертого поколения с критическими и сверхкритическими параметрами. Создание замкнутого ядерного топливного цикла предполагает переработку отработавшего ядерного топлива (ЭАТ) с извлечением из него урана и трансурановых элементов (плутоний, Нептун, Кюри, америций) и их повторной подачей в топливный цикл атомных электростанций после соответствующей подготовки топливной смеси для тепловыделяющих элементов (топливных стержней) ядерных реакторов. Для этого необходимо создать экономически осуществимую технологию радиохимической переработки отработавшего ядерного топлива, конкурентоспособную с добычей природного урана для будущих атомных электростанций. При разработке такой технологии необходимо учитывать радиационную безопасность обслуживающего персонала, поскольку в состав радиационной токсичности входят элементы с высокой степенью радиотоксичности.[6]

### Радиационная обработка отработавшего топлива

Радикальным выходом из чрезмерного накопления отработавшего ядерного топлива с реальным снижением радиотоксичности и количества утилизируемых отходов является переработка путем извлечения из него урана и плутония и использования последнего во вновь производимом топливе (переработка топлива). В этом сценарии основная фракция урана и плутония (99,9%) извлекается из ОИ, и лишь небольшая ее часть остается в отходах с высокой активностью, которые отправляются на геологическое хранилище для окончательного хранения.

С 1985 года переработка плутония, полученного в результате операций по переработке малиновок, стала промышленной практикой. Использование смешанного МОКС-топлива из оксида урана и плутония в легководных реакторах в топливном цикле с переработкой отработавшего топлива приобретает все большее промышленное значение в странах Западной Европы. Увеличенное количество РиО было преобразовано в МОКС-топливо и использовано в лицензированных реакторах во Франции, Германии, Швейцарии и Бельгии. В России строится завод по производству МОКС-топлива.[6]

### Заключение

За последние 2 века роль энергетики в жизни человека значительно возросла. В основном энергетические ресурсы (нефть газ уголь) уходят на топливный сектор. Если люди не сократят использование естественных ресурсов - то это может привести к истощению недр земли и исчезновения озонового слоя. Поэтому в прошлом веке люди задумали о получении ее другими способами, как ядерная энергетика. Существенным плюсом которой является отсутствие выбросов парниковых газов при деления ядерных элементов. А ключевым минусом - утилизация отходов, но над этим уже работают, в частности в России. И является безопасной, если не нарушать условия эксплуатации.

В следствии развития ядерной энергетики а также появления новых типов реакторов и различных усовершенствований при проектировании аэс. Можно говорить о решении ряда действующих проблем связанных с ядерной энергетикой.

### Литература:

1. Ядерная энергетика по старам [Электронный ресурс]. – Режим доступа: 07.04.2022. [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AF%D0%B4%D0%B5%D1%80%D0%BD%D0%B0%D1%8F\\_%D1%8D%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0\\_%D0%BF%D0%BE\\_%D1%81%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%B0%D0%BC](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AF%D0%B4%D0%B5%D1%80%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%8D%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0_%D0%BF%D0%BE_%D1%81%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%B0%D0%BC). - Дата доступа: 15.04.2023.

2. "Росатом" готов предлагать соседям по ЕАЭС передовые технологии – Лихачев [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.armeniasputnik.am/20230203/rosatom-gotov-vnedryat-predlagat-sosedyam-po-eaes-peredovye-tekhnologii--likhachev-54751469.html> Дата доступа: 17.04.2023.

3.Беларуская АЭС [Электронный ресурс]. – Режим доступа:[https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%B5%D0%BB%D0%BE%D1%80%D1%83%D1%81%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F\\_%D0%90%D0%AD%D0%A1](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%B5%D0%BB%D0%BE%D1%80%D1%83%D1%81%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D0%90%D0%AD%D0%A1). – Дата доступа: 17.04.2022.

4. Международное агентство по атомной энергии [Электронный ресурс].- Режим доступа:<https://mfa.gov.by/multilateral/organization/list/b5fbc389e3244621.html>. - Дата доступа: 17.04.2023.

5.Долгосрочный потенциал использования тория в ядерной энергетике: анализ МАГАТЭ [Электронный ресурс].- Режим доступа : <https://www.iaea.org/ru/newscenter/news/dolgosrochnyy-potencial-ispolzovaniya-toriya-v-yadernoy-energetike-analiz-magate.-> Дата доступа:09.04.2023.

6. Плачкова И. В.Развитие атомной энергетики и объединенных энергосистем 301с