

## ТЕНДЕНЦИИ БЕЗОПАСНОСТИ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

### NUCLEAR POWER SAFETY TRENDS

**Аннотация:** В данной статье рассмотрена проблема традиционной электроэнергетики, представлены преимущества использования ядерной энергетики (ЯЭ), а также затронуты дальнейшие перспективы ее развития в России и других странах. Проанализированы методы технических решений проблемы тяжелых аварий на АЭС, а именно замену работающего уран-плутониевого ядерного топливного цикла торий-урановым, и замену разработанных быстрых реакторов (БР) гибридными термоядерными установками. Предоставлена информация о проекте строительства, дальнейшей эксплуатации и экспериментирования токамака во Франции, а также в других странах, таких, как Китай, Великобритания и США. Затронута и отмечена разработка гибридной установки термоядерного синтеза на основе сверхпроводящего токамака в России. Получен вывод о том, что ядерная энергетика имеет множество перспектив развития, которые зависят от развития технологий, экономических и политических факторов.

**Abstract:** This article considers the problem of traditional electric power industry, presents the advantages of using nuclear energy (NE), and also touches upon the further prospects for its development in Russia and other countries. The methods of technical solutions to the problem of severe accidents at nuclear power plants are analyzed, namely, the replacement of the operating uranium-plutonium nuclear fuel cycle with thorium-uranium, and the replacement of the developed fast reactors (FR) with hybrid thermonuclear installations. Information is provided on the construction project, further operation and experimentation of the tokamak in France, as well as in other countries such as China, Great Britain and the USA. The development of a hybrid fusion plant based on a superconducting tokamak in Russian Federation was touched upon and noted. It was concluded that nuclear energy has many development prospects, which depend on the development of technologies, economic and political factors.

**Ключевые слова:** чистое топливо, ядерная энергетика, токамак, быстрые реакторы.

**Key words:** clean fuel, nuclear energy, tokamak, fast reactors.

Жизнеспособной стратегией сокращения глобальных выбросов углекислого газа является замена ископаемого топлива неуглеродными источниками для производства

электроэнергии. Энергия ветра непостоянна, а солнечная радиация периодически меняется, поэтому коэффициенты мощности возобновляемых блоков значительно ниже, чем у единиц ископаемого топлива. Накопление энергии становится необходимым для удовлетворения меняющегося спроса всех электрических сетей. Использование ядерной энергетики (ЯЭ) приводит к сокращению рассеиваемой энергии в процессах хранения-регенерации, потому что атомные электростанции генерируют непрерывно и демонстрируют коэффициенты мощности, очень близкие к 100 %. Определено, что добавление некоторых ядерных генерирующих мощностей уменьшает примерно в 3 раза требуемую мощность ветра и в 6 раз требуемую солнечную установленную мощность [4].

В настоящее время ЯЭ все больше становится современным ориентиром, поскольку имеет большую конкурентоспособность по сравнению с органическими источниками энергии. Но следует понимать, что формирование крупномасштабной ЯЭ – это не только сооружение и эксплуатация энергоблоков, но и разработка ядерных технологий, в том числе и для экспорта их в развивающиеся страны, где такой вид энергетики в скором будущем будет экономически востребованным [1].

Наряду с эффективностью и чистым топливом стоит проблема о тяжелых авариях на АЭС, которые ведут за собой невыносимые экономические потери и эвакуацию населения [1–3].

“Сохранение” современной инфраструктуры отрасли предполагает замену работающего уран-плутониевого ядерного топливного цикла торий-урановым, и замену разработанных быстрых реакторов гибридными термоядерными установками.

Рассмотрим некоторые методы технических решений, которые будут удовлетворять требованиям безопасности крупномасштабной ЯЭ:

- плотное топливо осуществит возможность реализации активной зоны;
- равновесная активная зона БР, минимизирующая запас радиоактивности на выгорание ядерного топлива;
- широкая решетка активной зоны позволяет достичь уровня естественной циркуляции, которой будет достаточно для отведения излишнего тепловыделения и снижения затрат мощности на прокачку теплоносителя;
- интегральная компоновка реакторной установки исключит потерю охлаждения активной зоны и обеспечит эффективность естественной циркуляции;
- тяжелый жидкометаллический теплоноситель, реализующий широкую решетку и исключая положительный пустотный эффект реактивности;
- система поддержания качества свинцового теплоносителя делает доступным использование тяжелого теплоносителя в БР большой мощности;

- атмосферный воздух послужит отличным охладителем естественного циркуляционного отвода излишнего тепловыделения [5].

Индия, Южная Корея, Китай, США, Япония и Россия приняли участие в проекте строительства термоядерного реактора типа токамак во Франции. Строительство началось в 2020 г. и пока носит экспериментальный характер. В данной установке изотопы водорода (дейтерий и тритий) электрическим током разогревают до высоких температур, вследствие чего образуется плазма, нагревающая через стенки реактора воду. Вода превращается в пар и вращает турбину. Предварительно завершение планируется в 2025 году, в то же время в реакторе получают первую плазму, а сами эксперименты планируются только в 2035 г. При удачных попытках реакторы данного типа войдут в производство и эксплуатацию.

Подобного рода проекты запущены не только на территории Франции, но и в других странах, таких, как Китай, Великобритания и США. Принцип действия у всех одинаков, различие лишь в способе удержания плазмы внутри корпуса реактора, многие компании предлагают различные вариации решения данной задачи.

В России гибридная установка термоядерного синтеза находится в стадии разработки. Основой служит сверхпроводящий токамак, который в дальнейшем будет использоваться для ядерных технологий мощностью до 40 МВт, а в последующем времени система послужит для трансмутации минорных актинидов в отработавшем ядерном топливе [6].

Таким образом, расширение использования ЯЭ позволит удовлетворить спрос электрических сетей, снизить попадание «парниковых» газов в атмосферу, а также увеличить долю выработки без углеродной энергии. Следует отметить, что несмотря на множество преимуществ ЯЭ, перспективы её развития напрямую зависят от инновационных технологий и во многом от экономических процессов, связанных с мировой политикой.

### **Список литературы**

1. Национальная стратегия развития ядерной энергетики: два подхода к новой технологической платформе ядерной энергетики / Е. О. Адамов, А. В. Лопаткин, Е. В. Муравьев, В. И. Рачков, Ю. С. Хомяков // Известия Российской академии наук. Энергетика. 2019. № 1. С. 3–14.

2. Атомная энергетика и ее экологические проблемы // Промышленность. URL: <https://promvesti.com/atomnaya-energetika/> (дата обращения: 26.03.2022).

3. Гонка термоядерных реакторов: дайджест Индустрии 4.0 № 17 // РБК. Тренды. URL: <https://trends.rbc.ru/trends/industry/5f241d7e9a7947f107575b0e> (дата обращения: 26.03.2022).

4. Кутеев Б. В., Шпанский Ю. С. Развитие гибридных систем «синтез-деление» и их интеграция в ядерную энергетику России // ВАНТ. Серия: Термоядерный синтез. 2021. Т. 44, вып. 2. С. 7–14. <https://doi.org/10.21517/0202-3822-2021-44-2-7-14>.

5. Международный экспериментальный термоядерный реактор // Википедия. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Международный\\_экспериментальный\\_термоядерный\\_реактор](https://ru.wikipedia.org/wiki/Международный_экспериментальный_термоядерный_реактор) (дата обращения: 26.03.22).

6. Перспективы развития ядерной энергетики через термоядерный реактор / Источники энергии : интернет-журнал про энергию. URL: <https://beelead.com/perspektivy-razvitiya-yadernoj-energetiki/> (дата обращения: 26.03.22).