

## ЯДЕРНЫЕ РЕАКТОРЫ IV ПОКОЛЕНИЯ

Артем ПЕРЕПЕЛИЦА

Электротехника, ЕИЕ-232, Энергетика и электротехническая инженерия,  
Технический Университет Молдовы, Кишинев, Молдова

Научный руководитель: **Лидия ПОРУБИН**, к.н., Департамент Иностранных Языков, УТМ

**Аннотация.** Атомная энергетика – крайне важная и перспективная отрасль в современной энергетике, которая позволяет решить многие проблемы, связанные с переработкой и истощением современных источников полезных ископаемых. Активное развитие атомной энергетике на рубеже 20 и 21 века привело к созданию ядерных реакторов IV поколения – на данный момент передовой технологии в области энергетического сектора. По сравнению со своими предшественниками, эти станции обладают повышенной безопасностью, полностью исключая возможность загрязнения в случае нештатной ситуации, впервые применяемый цикл полной переработки ядерных отходов с дальнейшим применением и большую выработку энергии из меньшего количества топлива. Проект направлен на достижение нескольких важных целей: использование более распространенного изотопа урана -  $^{238}\text{U}$ , значительное повышение эффективности производства электроэнергии, а также начало промышленного производства водорода, за счет гораздо более высокой температуры реакции, набирающего огромное значение в промышленности. К 2024 году представлено 7 проектов, разработкой которых занимается коалиция из стран, использующих атомную энергию в экономическом секторе, включая США, Россию, Францию и другие.

**Ключевые слова:** безопасность, переработка, промышленность, реактор, эффективность

### Введение

Ядерный реактор IV поколения — это невероятно перспективная разработка, которая обеспечивает чрезвычайно эффективный источник выработки электроэнергии при практически полном отсутствии загрязнения окружающей среды. Они также помогают решить проблему утилизации ядерных отходов, что еще больше повышает производительность, эффективность и безопасность атомных станций [1].

В первой части работы я рассмотрел применение и перспективы использования ядерных реакторов IV поколения для выработки энергии в современном обществе, плюсы перехода к этому виду генерации, форум, занимающийся разработкой и внедрением новых технологий, а во второй устройство наиболее изученных и перспективных электростанций.

### 1. Ядерные реакторы IV поколения

Реакторы поколения IV — общее наименование ядерных реакторов, разработкой и вопросом коммерческого использования которых занимается Международный форум поколения IV. Целью проектов является повышение безопасности, эффективности и снижение стоимости эксплуатации [2].

Форум был основан в 2001 году под названием «Поколение IV» (GIF) и является международной инициативой для проведения исследований и разработок, необходимых для определения характеристических свойств, рентабельности и осуществимости создания ядерно-энергетических систем следующего поколения. Проект GIF был инициирован Министерством энергетики США в 2000 году, а официально зарегистрирован в середине 2021 года. В настоящее время в рамках работы Форума определены шесть реакторных технологий, признанных перспективными для разработки, подробнее о которых будет упомянуто во второй части. К ним относятся: быстрый реактор с газовым охлаждением,

быстрый реактор со свинцовым охлаждением, жидкосолевой реактор быстрый реактор с натриевым охлаждением, сверхкритический реактор с водяным охлаждением, высокотемпературные газоохлаждаемые реакторы [3].

Из основных задач, которые преследует организация, можно выделить следующие:

- стабильное производство энергии с минимальным количеством отходов
- максимальное понижение стоимости производственного цикла по сравнению с остальными источниками, включая ядерные реакторы предыдущего поколения
- уровень безопасности, исключающий возможность утечек и аварий, вызванных человеческим фактором
- гарантии нераспространения информации о разработках вне форума и участников

Мировая ядерная ассоциация предполагает, что уже к 2030 году установки данного типа массово войдут в коммерческое использование с учетом доработки систем безопасности и генерации и предлагают значительные преимущества в области надежности и экономической выгоды по сравнению с предыдущими поколениями. Натриевый реактор на быстрых нейтронах – на данный момент самая проработанная установка из предлагаемых форумом, за последние годы получила наибольшую долю финансирования за счет эксплуатации ряда демонстрационных установок. На 2024 год главная задача GIF – работа в области создания замкнутого цикла, не требующего вмешательства человека, или сводящее его к минимуму за счет закрытого цикла переработки и питания реактора. Реактор с расплавом солей, менее развитая технология, считается потенциально имеющим наибольшую безопасность из шести моделей. Высокотемпературные реакторы работают при гораздо более высоких температурах. Это позволяет производить эффективную водорода и синтез углеродно-нейтрального топлива, крайне необходимых для нынешней индустрии [4].

## **2. Наиболее перспективные реакторы**

### ***Высокотемпературный газовый реактор***

Главная задача этого реактора — быть источником ядерного тепла для химической и металлургической промышленности. Гелий в этом случае разогревается до температуры более 900 градусов Цельсия. Это направление попало в список перспективных в основном благодаря всплеску интереса к водородной энергетике в 90х, когда подобные установки должны были вырабатывать водород. Несмотря на это, правительство Китая начало строительство высокотемпературного реактора с галечным слоем мощностью 200 МВт в 2012. И уже в конце 2023 года Китай стал первой страной, построившей первый реактор IV поколения, начавший использоваться в коммерческих целях используя именно эту технологию.

В концепции высокотемпературного реактора (VHTR) используется активная зона с графитовым замедлителем и - через урановый топливный цикл с использованием гелия или расплавленной соли в качестве теплоносителя. Высокие температуры позволяют использовать такие приложения, как технологическое тепло в промышленных нуждах или для подвода отопления, производство водорода с помощью термохимического серо-йодного цикла процесса [5].

### ***Быстрый реактор с натрием (БР)***

Этот тип реакторов отличается налаженным процессом работы и относительной «повседневностью». Ключевой особенностью этого реактора является поток нейтронов, позволяющий реализовать замкнутый ядерный топливный цикл. Установка характеризуется и минусами – быстрые нейтроны легко повреждают активную зону, а сама схема подразумевает использование легко воспламеняемого реактора с водой натрия. Тем не менее, в 60-х, в момент зарождения атомной энергетики быстрые натриевые виделись самыми простыми на пути к замыканию топливного цикла и, кроме того, позволявшими

решить топливный вопрос, благодаря переходу к еще более распространенным изотопам урана [6].

В итоге реакторы типа БН прошли самый длинный путь (20 когда-либо построенных и функционировавших). Резкое замедление роста атомной энергетики, изменение курса правительства Франции, направленное на снижение использования атомной энергетики, развал СССР привели к сильнейшему замедлению работы в этой области разработки.

Сегодня быстрые натриевые реакторы с оксидным или более плотным топливом из смеси U238 и Pu239 замерли в шаге от того, чтобы 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 [7].

Целью является повышение эффективности использования урана за счет воспроизводства плутония и устранения необходимости в трансурановых изотопах, когда-либо покидающих площадку. В конструкции реактора используется активная зона, работающая на быстрых нейтронах, спроектированная так, чтобы максимально эффективно использовать поступающее топливо и даже предполагает повторное использование отходов. Помимо преимуществ удаления трансурановых элементов с длительным периодом полураспада из цикла отходов, SFR-топливо расширяется при перегреве реактора, и цепная реакция автоматически замедляется. Таким образом, он пассивно безопасен [7].

### **Вывод**

Ядерные реакторы IV поколения — это комплекс невероятно перспективных разработок, которые обеспечивают эффективный источник выработки электроэнергии при практически полном отсутствии загрязнения окружающей среды. Они также помогают решить проблему утилизации ядерных отходов, что еще больше повышает производительность, эффективность и безопасность атомных станций. Развитие этой технологии станет новым шагом к решению нарастающего энергетического кризиса с решением практически всех современных вопросов и проблем энергетики

### **Источники:**

- [1] <https://habr.com/ru/articles/368653/>
- [2] [https://ru.wikibrief.org/wiki/Generation\\_IV\\_reactor](https://ru.wikibrief.org/wiki/Generation_IV_reactor)
- [3] <https://www.gen-4.org/gif/>
- [4] [https://ecology.at/ecology/files/pr577\\_1.pdf](https://ecology.at/ecology/files/pr577_1.pdf)
- [5] <https://web.archive.org/web/20150501113753/http://www.powertecrussia.com/blog/tag/nuclear-power/>
- [6] <https://www.atomic-energy.ru/technology/34307>
- [7] [http://sosny.bas-net.by/wp-content/uploads/2012/09/bul\\_2012\\_3-4.pdf](http://sosny.bas-net.by/wp-content/uploads/2012/09/bul_2012_3-4.pdf)