

УДК 621.311

РЕАКТОРЫ НА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНАХ FAST-NEUTRON REACTORS

А.Ю. Сугаков

Научный руководитель – В.Н. Нагорнов, кандидат экономических наук, доцент
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь

v_nagornov@tut.by

A. Sugakov

Supervisor – V. Nagornov, Candidate of Economic Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: *Топливные ресурсы, необходимые для существования современных ядерных реакторов, сильно истощаются, что в скором времени (до 100 лет) может привести к исчезновению ядерной энергетики. Статья посвящена реакторам на быстрых нейтронах, технологии, способной изменить будущее ядерной энергетики. В данном материале рассматриваются варианты решения топливной проблемы для ядерной энергетики путём использования быстрых реакторов и возможности с их помощью замкнуть ядерный топливный цикл.*

Abstract: *The fuel resources necessary for the existence of modern nuclear reactors are severely depleted, which will soon (up to 100 years) it can lead to the disappearance of nuclear power. The article is devoted to fast neutron reactors, a technology that can change the future of nuclear power. This article discusses options for solving the fuel problem for nuclear power by using fast reactors and the possibility of using them to close the nuclear fuel cycle.*

Ключевые слова: *Топливные ресурсы, перспективы энергетики, ядерные реакторы на быстрых нейтронах, реакторы-размножители, эффективное использование урана.*

Keywords: *Fuel resources, energy prospects, fast neutron nuclear reactors, breeder reactors, efficient use of uranium.*

Введение

На сегодняшний день наиболее распространены ядерные реакторы на тепловых нейтронах, которые в качестве делящегося материала (топлива) используют Уран-235. Запасы Урана-235 весьма ограничены и неспособны обеспечить будущее человечества даже на сотни лет вперёд. Но на эту проблему человечество нашло решение, замкнув ядерный топливный цикл и разработав реакторы на быстрых нейтронах.

Основная часть

В мире построено порядка 20 реакторов на быстрых нейтронах(FNR), часть которых с 1950-х обеспечивает электроэнергией потребителей. Реакторы на быстрых нейтронах, в сравнении с реакторами на тепловых нейтронах, в большей степени используют Уран-238, совместно с Ураном-235, последний является основным делящимся элементом тепловых реакторов. Реакторы на

быстрых нейтронах введены в энергетику с целью получения большего количества плутония (Pu), относительно урана и плутония, делящихся в активной зоне, поэтому они названы реакторами быстрого размножения (FBRs). Быстрые реакторы имеют возможность сжигать долгоживущие актиниды, которые нарабатываются в тепловых реакторах. Реакторы на быстрых нейтронах будут считаться размножителями, в том случае, когда отношение отработанного топлива к свежему топливу будет больше 1. Основное мировое внимание уделяется разработке реакторов на быстрых нейтронах, потому что эта технология позволит человеку замкнуть ядерный топливный цикл. К примеру, Франция планирует заменить половину мощностей быстрыми реакторами к 2050 году. Японское агентство по атомной энергии (JAEA), французское СЕА и Министерством энергетики США заключило соглашение в октябре 2010 года. Данное соглашение расширило перспективы совместной разработки и проектирования безопасных реакторов на быстрых нейтронах мирового уровня и позволило вовлечь частных производителей. Япония разрабатывает проект демонстрационного реактора, который поможет заменить прототип FBR Monju, а Франция спроектировала усовершенствованный натриевый технический реактор для промышленной демонстрации (ASTRID) с Японией. США же накопили широкую информационную базу в результате разработок FNR в прошлом (FFTF и EBR-II), однако отстают от современных заводов, так как сконцентрированы на безопасности данных систем. Великобритания планирует развивать быстрые реакторы с целью уничтожения наработанного плутония параллельно процессу получения электричества в реакторах на быстрых нейтронах. Изначально быстрые реакторы задумывались для более эффективного использования урана и, благодаря этому, расширения его запасов (данная технология предположительно позволяет расширить запасы урана в 60 раз). Современные ядерные реакторы работают преимущественно на Уране-235 и используют его очень неэффективно (менее 1% от доступного объёма энергии). Обширное использование реакторов на тепловых нейтронах натолкнуло учёных на мысль, что в скором времени запасы Урана-235 сильно истощатся и заставило серьёзно задуматься над строительством реакторов на быстрых нейтронах. Но, как и любая другая технология, реакторы на быстрых нейтронах имеют свои недостатки: требуются повышенные меры безопасности, что влечёт за собой высокую стоимость строительства станций данного типа. В связи с этим, реакторы на быстрых нейтронах будут неконкурентоспособны некоторое время, пока существует возможность добычи дешёвого урана. Однако даже эти недостатки не способны прервать развитие технологии реакторов на быстрых нейтронах, так как в долгосрочной перспективе данная технология очень важна и позволит не только расширить использование урана, но и поможет избавиться от большого количества радиоактивных отходов и запасов оружейного плутония.

Природный уран включает в себя 0,7% U-235 и 99,3% U-238. В процессе работы реактора любого типа, часть U-238, участвуя в радиационном захвате, превращается в изотоп плутония (Pu-239 и Pu-241). Данные изотопы плутония в

последствия могут быть использованы как самостоятельное топливо для получения энергии. Реакторы на быстрых нейтронах могут преумножить плутоний в процессе работы. U-238 частично может делиться нейтронами с энергией выше 1 МэВ. Таким образом, быстрые реакторы, в сравнении с обычными реакторами, могут использовать уран в 60 раз эффективнее. FNR очень дороги при строительстве и эксплуатации, до тех пор, пока запасы Урана-235 не истощены и его добыча является дешёвой, однако FNR станут просто незаменимы в долгосрочной перспективе. Быстрые реакторы работают на быстрых нейтронах и не используют замедлителя, так как быстрые нейтроны наиболее эффективно делят уран. Основным видом топлива для реакторов на быстрых нейтронах является Pu-239, из-за хорошего взаимодействия с быстрыми нейтронами. В процессе деления Pu-239 образуется на 25% больше нейтронов, в сравнении с делением урана, что облегчает поддержание цепной реакции, а также превращение U-238 в Pu-239. В качестве теплоносителя в быстрых реакторах используется жидкий металл (чаще всего натрий), с целью предотвращения замедления нейтронов, а также обеспечения качественной теплопередачи. В обычном реакторе коэффициент конверсии (отношение скорости накопления нового ядерного горючего к скорости выгорания ядерного горючего) равен приблизительно 0,6, в то время, как в быстром реакторе он может быть более 1,0. FNR позволяют делить даже высокообогащённый уран до 25%. U-235 имеет низкое сечение для реакции деления быстрыми нейтронами, однако при высоком обогащении топлива нейтронов достаточно для поддержания цепной реакции.

Активная зона FNR имеет значительно меньшие габариты, чем у реакторов на тепловых нейтронах, однако требуют высокой эффективности теплопередачи. Активная зона реактора БН-600 (560 МВт) имеет активную высоту 0,88 метра и диаметр 0,75 метра. Активная зона БН-800 имеет аналогичные размеры, а БН-1200 имеет высоту всего 0,85 м. В качестве топлива может быть использован высокообогащённый оксид урана (БН-350, БН-600, БН-800) или MOX топливо (БОР-60, БН-800, БН-1200). FNR эксплуатируются при температуре 500-550°C и давлении, равном атмосферному. Стержни управления изготавливаются из карбида бора. При строительстве реакторов на быстрых нейтронах, их конструкция должна предотвращать натрия с водой, потому что это может привести к взрыву или возгоранию.

Заключение

Росатом планирует инвестировать собственные средства в развитие ФНБ до 2025 года. В октябре 2018 года он попросил правительство выделить дополнительно 200 млрд рублей (около 3 млрд долларов) на 2019-2025 годы в рамках федеральной целевой программы по атомной энергетике. Российский реактор БН-600 – Белоярский энергоблок 3 мощностью 600 МВт брутто, 560 МВт нетто – поставляет электроэнергию в сеть с 1980 года и, как говорят, имеет лучший эксплуатационный и производственный рекорд среди всех российских атомных энергоблоков. Он использует в основном оксидное топливо урана, обогащенное до 17, 21 и 26%, с некоторым содержанием MOX в последние годы. К 2010 году в России было накоплено около 40 тонн

выделенного плутония, который, как ожидалось, будет сожжен в БН-800 к 2025 году. Сроки для этого сдвинулись примерно на четыре года. Основная цель БН-800-обеспечить опыт эксплуатации и технологические решения, особенно в отношении топлива, которое будет применено к БН-1200.

Литература

1. Реакторы на быстрых нейтронах [Электронный ресурс]/Реакторы на быстрых нейтронах.

- Режим доступа: <https://www.world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/fast-neutron-reactors.aspx/>. - Дата доступа: 14.04.2021

2. Реакторы на быстрых нейтронах [Электронный ресурс]/Реакторы на быстрых нейтронах.- Режим доступа: <https://www.iaea.org/topics/fast-reactors/>.- Дата доступа: 14.04.2021