

УДК 504.062.2

ТЕРМОЯДЕРНЫЙ СИНТЕЗ КАК ИСТОЧНИК ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ THERMONUCLEAR FUSION AS A SOURCE OF ELECTRIC ENERGY

В.В. Куделко, К.Ю. Яцковский

Научные руководители – А.А. Павловская, старший преподаватель,
А.Д. Мухин, ассистент

Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь

a.pawlowskaya@bntu.by, muhin@bntu.by

U. Kudzelka, K. Yatskouski

Supervisors – N. Paulouskaya, Senior Lecturer, A. Mukhin, Assistant
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** в статье приведен анализ возможности использования термоядерного синтеза как источника электроэнергии.*

***Abstract:** the article analyzes the possibility of using thermonuclear fusion as a source of electricity.*

***Ключевые слова:** термоядерный синтез, экспериментальный реактор, токамак, демонстрационные ядерные энергетические установки.*

***Keywords:** thermonuclear fusion, experimental reactor, tokamak, demonstration nuclear power plants.*

Введение

Термоядерный синтез – это процесс, при котором два ядра легких атомов соединяются в одно более тяжелое, освобождая огромное количество энергии. Это явление было известно еще в начале XX века, но успех в его осуществлении удалось достичь только в середине XX века. С того времени термоядерный синтез стал серьезным объектом исследования в области физики плазмы и ядерной физики, а также потенциальным источником энергии.

Основная часть

В процессе термоядерного синтеза выделяется огромное количество энергии. Именно благодаря этому процессу внутри Солнца и других звезд происходит синтез элементов в более тяжелые, а также выделяется огромное количество энергии. В свою очередь эта энергия может использоваться для генерации электроэнергии.

Основным преимуществом термоядерного синтеза как источника электроэнергии является сравнительно маленькое количество отходов. Также довольно важным преимуществом термоядерного синтеза как источника электроэнергии является его экологическая безопасность и отсутствие выбросов вредных газов в атмосферу. Также этот процесс обладает огромным энергетическим потенциалом и возможностью получать энергию из самых дешевых и доступных ресурсов – воды и лития.

Кроме того, термоядерный синтез может быть использован в космических исследованиях, поскольку он может обеспечить достаточно энергии для длительных миссий в космосе.

Главным элементом установки термоядерного синтеза является термоядерный реактор, в котором происходят реакции синтеза. Для этого используются плазменные образования при высоких температурах и низких давлениях. В качестве топлива используются легкие атомы водорода – дейтерий и тритий, которые получают из обычной воды и лития.

Стоит отметить, что несмотря на множество преимуществ, термоядерный синтез имеет и свои недостатки. Например, его осуществление требует огромных энергетических затрат и высокотехнологичного оборудования. Кроме того, существует риск инцидента, связанного с распадом контейнера, содержащего топливо, что может привести к утечкам радиации.

В целом, термоядерный синтез представляет собой перспективный и потенциально эффективный источник электроэнергии. Но для его практического применения нужно продолжать исследования и совершенствовать технологии, чтобы снизить затраты и повысить безопасность.

Для демонстрации возможности генерации электроэнергии на основе термоядерной реакции разработаны специальные комплексы – демонстрационные термоядерные энергетические установки. Они предназначены для изучения корректности проектирования и работоспособности элементов, установок и систем, а также для получения данных, необходимых для создания следующего поколения термоядерных реакторов. Основная цель создания демонстрационных термоядерных энергетических установок – это обеспечение стабильной и экологически чистой энергии из источников, несущих мало угрозы для окружающей среды, а также снижение риска ядерных аварий. Эти установки являются важным шагом к созданию коммерческих термоядерных реакторов.

Одним из главных достижений в области термоядерной энергетики было создание действующих демонстрационных термоядерных установок. Они выполняют функции термоядерного реактора в масштабе, который позволяет исследовать процессы, происходящие при термоядерной реакции, и оптимизировать работу установок.

Наиболее известные демонстрационные термоядерные установки – это Международный термоядерный экспериментальный реактор (ИТЭР) во Франции и Национальный объединенный лазерный объект (NIF) в США. NIF использует лазеры для создания температур и давления, достаточных для возникновения термоядерной реакции. Однако именно проект ИТЭР является крупнейшей и наиболее продвинутой демонстрационной установкой на сегодняшний день. Его главной задачей является проверка технологии слияния дейтерия и трития в масштабе, подходящем для создания коммерческой термоядерной установки.

Проблема управляемого термоядерного синтеза настолько сложна, что самостоятельно с ней не справится ни одна страна. Поэтому мировое сообщество избрало самый оптимальный путь – создание проекта ИТЭР [1].

Цель проекта: переход от экспериментальных установок по удержанию плазмы к полномасштабному источнику электроэнергии на основе термоядерной реакции.

Предполагается, что этот термоядерный реактор будет расположен в центре комплекса площадью 180 гектаров вместе со вспомогательными помещениями и оборудованием, весить 23000 тонн и достигать в высоту 30 м. По своим размерам ИТЭР значительно превзойдет крупнейшие работающие в настоящее время экспериментальные термоядерные реакторы – Объединенный европейский тор (JET) в Соединенном Королевстве и совместный европейско-японский реактор JT-60SA в Японии [2].

Одна из основных целей ИТЭР – доказать, что в результате термоядерной реакции может производиться значительно больше энергии по сравнению с тем количеством, которое затрачивается на запуск самого процесса реакции, т. е. что происходит общее увеличение мощности.

ИТЭР предполагает использование технологии «токамак». Токамак – это устройство, в котором плазма нагревается, путем создания магнитного поля около нее и поддерживается в устойчивом состоянии. Токамак, разрабатываемый в ИТЭР, будет иметь радиус в 6 метров и в высоту почти в два раза больше.

Совместный проект позволяет экспертам на основе современных технологий и новейших материалов осуществлять научно-исследовательский подход в области возобновляемых источников энергии, а также экспериментально изучать эффективность и надежность научных технологий плазменной физики. ИТЭР станет не только новым типом реактора, но и успешной площадкой для международного сотрудничества в области науки и технологий.

ИТЭР основан на использовании техники термоядерного синтеза, где ядро водорода (дейтерия и трития) сливаются в ядро гелия под действием высокой температуры и давления. Для создания условий, необходимых для слияния ядер, ИТЭР использует плазменную колонну, поддерживаемую в магнитном поле. В этом случае плазма нагревается до температуры, выше 100 миллионов градусов Цельсия, что позволяет проводить термоядерные реакции.

Важным показателем эффективности реактора является коэффициент усиления термоядерной энергии, представляющий собой соотношение произведенной термоядерной энергии и энергии, поданной в плазму для стимулирования реакции. Он обозначается символом « Q ». На сегодняшний день наибольший коэффициент усиления Q , равный 0,67, был достигнут на JET: из 24 мегаватт (МВт) тепловой энергии было произведено 16 МВт термоядерной энергии. Однако для производства электроэнергии потребуются гораздо более высокие значения Q .

Применение новых конструкций и инновационных материалов позволит оснастить ИТЭР одними из самых мощных устройств для нагрева плазмы, которые когда-либо использовались. Предполагается, что из 50 МВт тепловой энергии, подаваемой в плазму, на нем будет производиться 500 МВт

термоядерной энергии, т. е. значение Q составит по меньшей мере 10. Энергия будет вырабатываться с перерывами: каждый раз термоядерная реакция будет происходить примерно 5–10 минут. Пиковая производительность ИТЭР будет впечатляющей, но она будет достигаться лишь на очень короткие промежутки времени. Чтобы обеспечить постоянную выработку электроэнергии, будущие термоядерные электростанции должны работать непрерывно. Значение Q , равное пяти, является переломным: при его достижении начинается самонагрев плазмы, и она получает способность самостоятельно поддерживать термоядерную реакцию. Чтобы лучше понять, как обеспечить протекание этой самоподдерживающейся реакции, на ИТЭР в конечном итоге будут достигаться и поддерживаться значения Q , равные пяти, в течение промежутков времени, значительно превышающих десять минут.

Работы по созданию установки начались более 20 лет назад, но, согласно поэтапному плану исследований, первые эксперименты на ИТЭР начнутся в 2025 году. Эксперименты на полную мощность должны начаться в 2035 году. В случае успеха они станут важной вехой и ознаменуют собой имеющий историческое значение переход на новый этап по сравнению с экспериментальными исследованиями и первыми демонстрационными термоядерными энергетическими установками (DEMO). Планируемые DEMO позволят обеспечить чистый прирост электроэнергии. На этапе рассмотрения уже находится ряд предварительных концепций таких реакторов.

Стоит отметить, что у этого процесса есть несколько сложностей. Во-первых, необходимо создать такую высокую температуру, которая не может быть достигнута при обычных условиях. Во-вторых, нужно найти материалы, которые могут выдержать проблемы с высокой температурой и экстремальными условиями, возникающими в нагреваемой плазме.

В целом, ИТЭР является важным шагом в развитии термоядерного синтеза как инновационного источника энергии. Однако до того, как эта технология попадет в массовое производство и будет использоваться в повседневной жизни, еще предстоит пройти много испытаний и экспериментов.

Однако, несмотря на значительные успехи в создании демонстрационных термоядерных установок, до коммерческой эксплуатации термоядерной энергетики еще далеко. Создание и эксплуатация демонстрационных термоядерных энергетических установок – это сложный и длительный процесс, требующий значительных финансовых и человеческих ресурсов. Существует множество проблем, таких как обеспечение безопасности и поддержание стабильности реакции. Кроме того, термоядерная энергетика до сих пор остается достаточно дорогостоящей и сложной в эксплуатации.

Тем не менее, демонстрационные термоядерные установки продолжают развиваться и совершенствоваться. В будущем термоядерная энергия может стать основным источником энергии в мире, что позволит снизить зависимость от нефти и газа, а также уменьшить выбросы углекислого газа в атмосферу. Их создание и эксплуатация являются важными шагами на пути к

коммерческим термоядерным реакторам, которые могут стать источником высокоэффективной и экологически чистой электроэнергии.

Заключение

Несмотря на все свои преимущества, технология термоядерного синтеза все еще находится в разработке и тестировании и ее внедрение в промышленное производство может занять еще много лет.

Однако, надежда на то, что термоядерный синтез однажды станет главным источником энергии для человечества, остается высокой, поскольку потенциал этой технологии чрезвычайно большой и она может значительно сократить нашу зависимость от нефти и угля.

Литература

1. Королёв, Е.В. Термоядерный синтез как экологически безопасный способ получения энергии / Е.В. Королёв, О.В. Тасейко // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2014. – № 10. – С. 224–225.
2. Бюллетень МАГАТЭ. Энергия термоядерного синтеза // IAEA Международное агентство по ядерной и радиационной безопасности. [Электронный ресурс] / Бюллетень МАГАТЭ. – Режим доступа: <https://www.iaea.org/sites/default/files/fusionenergyru.pdf> /. – Дата доступа: 03.04.2023.