

УДК 621

## ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЕРМОЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Степанов А.С., студент гр. АЭб-211

Научный руководитель Черникова Т.М., д.т.н., профессор

Кузбасский государственный технический университет

имени Т.Ф. Горбачева

г. Кемерово

В солнечной системе каждый миг происходят реакции, связанные с объединением ядер лёгких элементов, в результате которых возникают более тяжёлые ядра. Такие реакции происходят и на Солнце. В результате цепных превращений четыре ядра атома водорода превращаются в ядро гелия и выделяется огромное количество энергии. Данное явление получило название термоядерной реакции.

На сегодняшний день человек получает около 80 % энергии из органических видов топлива. По оценкам специалистов к середине XXI столетия произойдёт трёхкратное увеличение производимой энергии. Следовательно, в ближайшей перспективе человечеству придётся искать более экологичные и экономичные источники энергии.

В настоящее время аналогом основной энергетики является ядерная энергия, которая включает в себя преобразование ядерной энергии в механическую и электрическую, и управляемый термоядерный синтез. Преимущество последнего заключается в отсутствии долгоживущих радиоактивных отходов, практически бесконечном запасе топлива и большом количестве выделяемой энергии [1].

Целью данной работы является анализ возможности развития термоядерной энергетики и термоядерных технологий.

Впервые идею об удержании плазмы, разогретой до миллионов градусов, огласили А. Сахаров и И. Тамм в СССР в начале второй половины XX века. Работа над исследованием и созданием аппарата, который смог бы удержать в себе раскалённую плазму, оказалась очень сложна. У данной идеи было множество противников. Но вопреки этому, потребовались десятки лет, чтобы доказать обратное.

В конце 60-х годов XX века в СССР добились высокой температуры в 10 000 000 °C. Достигнуть такого результата удалось с помощью ТОКАМАКА (тороидальной камеры с магнитным полем) [2].

На рисунке 1 показана принципиальная схема ТОКАМАКА. В тороидальном устройстве формируется сгусток плазмы, который создаёт электрический ток и превращается в магнит с собственным магнитным полем. С использованием внешних магнитов, образующих полоидальное магнитное поле,

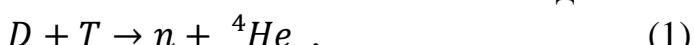
стало возможным удерживать облако плазмы в центре камеры, не допуская его соприкосновения с её стенками.

Принцип действия системы основан на том, что в начале из камеры удаляют воздух, заменяя его на специальную дейтерий-тритиевую смесь. Затем подают питание на первичную обмотку и в смеси, подобно вторичной обмотке, индуцируется электрический ток. Далее возникает контролируемая цепная реакция. Число ионизированных атомов увеличивается, вследствие чего растёт разогрев смеси и сила тока, продолжает расти температура, смесь становится плазмой. В результате данного процесса происходит синтез ядер[3].



Рис. 1. Принципиальная схема ТОКАМАКА

На сегодняшний день в ТОКАМАКе можно осуществлять множество реакций синтеза, однако самые главные из них можно выделить следующие:



где  $D$  и  $T$  – дейтерий и тритий;  $p$  и  $n$  – протоны и нейтроны;  ${}^4He$  и  ${}^3He$  – ядра гелия с разными зарядами.

Данные реакции привлекают большое внимание, поскольку для первой свойственно выделение огромного количества энергии, а для второй – наиболее легкое решение вопроса топлива.

Нейтроны, достигая оболочки ТОКАМАКА, в котором осуществляется реакция, отдают свою энергию, которая впоследствии преобразуется в теплоту. Её, в тоже время, можно пропустить через цикл, подобный тому который осуществляется на ТЭЦ: теплота нагревает воду, которая превращается в пар, способный под большим давлением вращать лопасти турбины. Вследствие чего будет вырабатываться необходимая энергия.

Одной из проблем, возникающих при реализации первой реакции, является наличие трития в природе в малых количествах из-за его сравнительно

небольшого периода полураспада 12,3г. Тем не менее, его можно выработать из лития и его солей в оболочке камеры реактора. Количество дейтерия в природе существует достаточное количество.

Второй проблемой является трансмутация ядер материалов, образующих структуру реактора. Под влиянием больших температур и действием нейтронов, происходят изменения в строении оболочки реактора.

Огромное количество трёхзарядного ядра гелия, который необходим для протекания одной из реакций, находится на Луне. Некоторые страны ведут разработки проектов по добычи полезных ископаемых с естественного спутника Земли [4].

Существуют реакторы с обжатием термоядерной мишени. В них термоядерное топливо заключается в сферическую оболочку и подвергается влиянию мощных пучков (импульсов электромагнитного излучения). Возникающие в результате силы способны разогреть топливо и оболочку до температур, при котором полезная энергия равна затраченной.

Для достижения таких результатов требуется усовершенствовать и обеспечить:

- 1) работу мощных лазеров;
- 2) увеличение их КПД;
- 3) равномерность обжатия мишени;
- 4) устойчивость материала к высоким температурам [5].

В Санкт-Петербурге был проведен пуск ТОКАМАКа. По планам проекта была рассчитана реализация исследований водородной плазмы при нагреве до 10 000 000 °С. Полученные данные помогут понять эффективность использования сферических ТОКАМАКОв.

В Обнинске была построена лазерная установка с ядерной накачкой энергии с помощью оптического квантового усилителя. За время равное 40-100 миллионных долей секунды возникает энергия, которую может выдать вся мировая ядерная энергетика [2].

Быстрое развитие технологий, связанных с применением термоядерного синтеза, было бы невозможно, если бы не было создано международное объединение, которое позволило, по мере продвижения к цели, решать другие сложные задачи, возникающие на пути развития этого направления.

Совместными усилиями физики из разных стран создали множество вариантов устройства ТОКАМАКА. Самыми мощными из них на сегодняшний день являются: европейский ТОКАМАК JET; японский – JT-60; американский – DIII-D. Достигнутая максимальная мощность по сравнению с 1970 годом увеличилась в 12 раз и составила 16 МВт на установке JET.

В случае успешной реализации международного проекта ITER, он будет предпоследним этапом на пути к практическому применению управляемого термоядерного синтеза. Последним этапом станет сооружение в Японии, которое должно будет достигнуть значения вырабатываемой мощности в 1,5 ГВт [5].

### Список литературы:

1. Ветров, В. И. Преобразователи энергии/В. И. Ветров, А. В. Белоглазов; Новосибирский государственный технический университет. – Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2019. – 128 с. : ил., табл. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=575665> (дата обращения: 13.03.2023). – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-7782-3867-1. – Текст: электронный.
2. Почекаева, Е. И. Окружающая среда и человек: учебное пособие / Е. И. Почекаева; под ред. Ю. В. Новикова. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2012. – 576 с. : ил., табл. – (Высшее образование). – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=271506> (дата обращения: 13.03.2023). – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-222-18876-7. – Текст : электронный.
3. Ляшков, В. И. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии / В. И. Ляшков, С. Н. Кузьмин; Тамбовский государственный технический университет. – Тамбов: Тамбовский государственный технический университет (ТГТУ), 2012. – 95 с. : ил., табл., схем. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=277820> (дата обращения: 13.03.2023). – Библиогр.: с. 93. – Текст : электронный.
4. Ушаков, В. Я. Современные проблемы электроэнергетики / В. Я. Ушаков; Национальный исследовательский Томский государственный университет. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2014. – 447 с. : ил., табл., схем. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=442813> (дата обращения: 13.03.2023). – Библиогр. в кн. – Текст: электронный.
5. Общая энергетика: учебник: в 2 книгах / В. П. Горелов, С. В. Горелов, В. С. Горелов [и др.] ; под ред. В. П. Горелова, Е. В. Ивановой. – Москва; Берлин: Директ-Медиа, 2016. – Книга 1. Альтернативные источники энергии. – 435 с. : ил., табл., схем. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=447693> (дата обращения: 13.03.2023). – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-4475-5763-8. – DOI 10.23681/447693. – Текст : электронный.