ОБЕДНЕННЫЙ ГЕКСОФТОРИД УРАНА, КАК ТОПЛИВО ДЛЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ БУДУЩЕГО

Шарипов Д.Ш.
ФГАОУ ВО «Снежинский физико-технический институт Национального исследовательского ядерного университета МИФИ», Челябинская обл.
Dinar.Shamilevich@yandex.ru

Аннотация. Показаны нарастающие проблемы с обеспечение человечества энергией. Отмечено, что накопленный в России стратегический запас ОГФУ – ценное сырье для будущих поколений, которым неизбежно придется развивать атомную энергетику с реакторами на быстрых нейтронах и замкнутым ядерно-топливным циклом. Это позволит на два порядка расширить топливную базу атомной энергетики и решить экологические проблемы. Показано, что накопленные к настоящему времени запасы урана ядерной чистоты в виде ОГФУ − уже готовый энергоноситель, который содержит энергию на сотню лет для современной цивилизации.

Ключевые слова: реакторы на быстрых нейтронах, замкнутый ядерный топливный цикл, ОГФУ

DEPLETED URANIUM HEXOFLUORIDE AS A FUEL FOR THE NUCLEAR POWER INDUSTRY OF THE FUTURE

Sharipov D.Sh.
Snezhinsk Physics Technology Institute of the National Research Nuclear University MEPhI, Chelyabinsk region

Abstract. The rising problems with providing humanity with energy are shown. It is noted that the accumulated strategic reserve of OGFU in Russia is a valuable raw material for future generations, which will inevitably have to develop nuclear power with fast neutron reactors and a closed nuclear fuel cycle. This will allow us to expand the fuel base of nuclear power by two orders of magnitude and solve environmental problems. It is shown that the accumulated reserves of nuclear-grade uranium in the form of OGFU are already a ready-made energy carrier, which contains energy for a hundred years for modern civilization.

Keywords: fast neutron reactors, closed nuclear fuel cycle, OGFU

Обществом признаются назревшие экологические проблемы и почти не оспаривается основной источник загрязнения окружающей среды – добыча и использование, главным образом сжигание, углеводородных энергоносителей на производстве, транспорте и в быту. Единственно возможный ответ на экологический вызов связан с внедрением экологически чистых способов получения энергии, приоритетным из которых является использование ядерной энергии на основе замкнутого топливного цикла с реакторами на быстрых нейтронах.

В настоящее время в атомная энергетика с реакторами на тепловых нейтронах использует уран-235, доля которого в естественном урана составляет 0,7% и остальные 99,3% не используются. Современная ядерная энергетика России с реакторами на тепловых нейтронах – с десятью АЭС с 37 энергоблоками установленной мощностью 30,3 ГВт (эл) за год – потребляет примерно 10 тыс. тонн естественного урана. Его запасы в России с приемлемой стоимостью оценены на уровне 635 тыс. тонн, и его хватит на ≈ 60 лет. Для обеспечения топливом атомной энергетики необходимо задействовать остающийся уран-238 и один из способов - использование уже наработанного ОГФУ [2] ядерной чистоты.

В настоящее время человечество ежегодно добывает энергоносители, в основном углеводородные, сжигает их и производит ~14,36 млрд.т.н.э. энергии [4] (тепловой,

электрической и в виде транспортного топлива), что соответствует $6 \cdot 10^{20}$ Дж и мощности ~19 тыс.ГВт и, следовательно, на одного жителя планеты (~7,2 млрд.чел.) приходится в среднем ~2,5 кВт. Она тратится как на бытовые, так и в многократно больших масштабах на производственные цели. Динамика мирового энергопотребления по видам топлива демонстрирует резкий рост потребления энергии, начавшиеся около 70 лет назад (рисунок 1).

Периодически публикуются прогнозы развития энергетики [3, 4], которые предсказывают те или иные колебания на уровне нескольких процентов, но не предвидят снижения производства энергии.

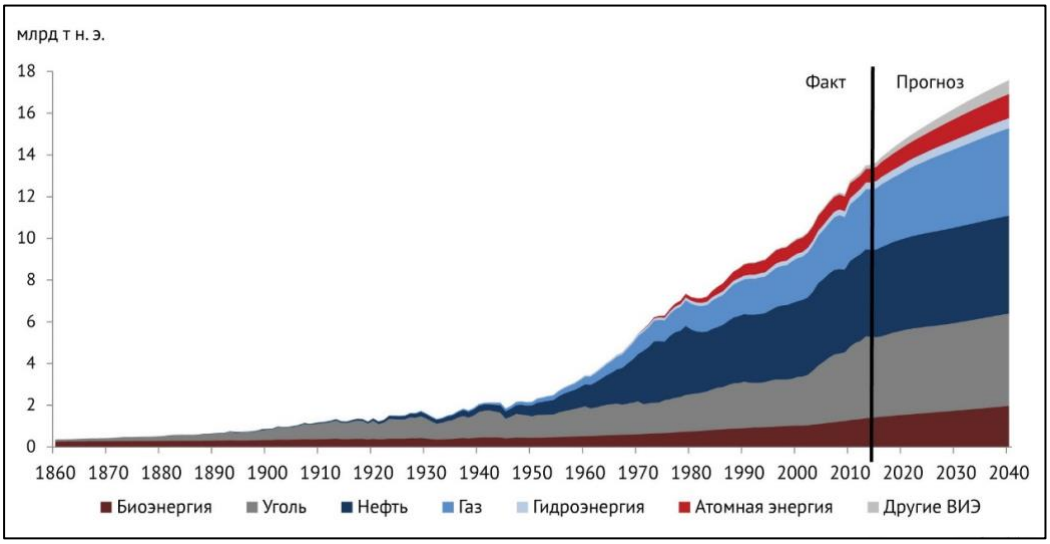

Рисунок 1 – Динамика мирового энергопотребления по видам топлива,

Развитие атомной энергетики является решением проблем для будущих поколений, связанных с обеспечением экологической безопасности в рамках устойчивого развития энергетической отрасли и экономики в целом. Самая перспективная технология в настоящее время – энергия урана-238, реализуемая в энергетике с реакторами на быстрых нейтронах и замкнутом ядерном топливном цикле.

В процессе обогащения урана по изотопу ^{235}U образуются обогащенный урановый продукт, который используется для изготовления топлива, и побочный продукт – обедненный гексофоторид урана (рисунок 2).

Рисунок 2 – Технологический схема конверсии природного урана.

Информации о технологии переработки и использования ОГФУ, как источника энергии, более подробно представлена в источниках из библиографического списка.

По оценкам в России насчитывается около 1 млн.т. (10^{12} г.) запасов ОГФУ [2]. Оценим запас энергии в 1 млн.т. ОГФУ:

$$\frac{Na \times m \times E}{A} = \frac{6.02 \times 10^{23} \times 10^{12} \times 176 \times 1{,}602 \times 10^{-19}}{238} \approx 7 \times 10^{22}$$

где: Na – число Авогадро, моль$^{-1}$;
m – масса, г;
A – массовое число атомов ядра, а.е.m.;
E –энергия, выделяющаяся в акте деления (176 Мэв);

Таким образом, запас энергии в уже наработанном ОГФУ на два порядка больше годового потребления энергии в мире. Гексафторид урана – это не радиоактивные отходы, это уже готовый источник урана и фтора ядерной чистоты, т.е. ценное сырье для энергетики на быстрых нейтронах и будущим поколениям будет передан уже готовый энергоноситель, который содержит энергию на сотню лет. Сегодня в нем нет большой надобности, так как уран-235 из него в основном извлечен, но потребность в уране-238 появится через несколько десятилетий при запуске атомной энергетики с реакторами на быстрых нейтронах и замкнутым ядерным топливным циклом.

Таким образом, уже имеющийся ОГФУ ядерной чистоты, для ядерных реакторов на быстрых нейтронах, обеспечит атомную энергетику топливом весь мир в течение столетия. Естественно, потребление энергии будет расти с увеличением населения и производственных мощностей, а также не все факторы учтены в расчетах (неизбежные потери при переработке и неполное выгорание), но даже такая оценка показывает, что использование ОГФУ, как полезного ресурса и источника энергии является перспективной стратегией решение проблемы энергообеспечения будущего.

Библиографический список:

1. Кантаев И.С. Переработка отвального гексофторида урана / И.С. Кантаев; Томский политехнический университет / XII Всероссийская научно-практическая конференция студентов и молодых учёных «Химия и химическая технология в XXI веке» -2011 – С. 119-120.
2. Никитин А.К. Обедненный гексофторид урана: современная ситуация, вопросы безопасного обращения и перспективы / А. Никитин, О. Муратов, К. Вахрушева, - Санкт-Петербург: ЭПЦ «Беллона», 2020. – 53 с.
3. Прогноз развития энергетики мира и России 2016. под ред. Макарова А.А., Григорьева Л.М., Митровой Т.А; ИНЭИ РАН–АЦ при Правительстве РФ - Москва, 2016. – 196 с.
4. Прогноз развития энергетики мира и России 2019 / под ред. А.А. Макарова, Т.А. Митровой, В.А. Кулагина: ИНЭИ РАН – Московская школа управления СКОЛКОВО – Москва, 2019. – 210 с.
5. Шульга И. Наследие обогащения / И. Шульга // Атомный эксперт. – 2018 – № 2. – С. 40-47.
6. Ядерные делящиеся материалы: практика обращения: обзор технологий, проблемы и перспективы / А. Никитин, В. Кузнецов, А. Золотков [и др.]; под общей редакцией А. Никитина. - Санкт-Петербург: АНО «Беллона», 2012. – 150 с.