

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ И ОСОБЕННОСТИ МАТЕРИАЛЬНОГО ПОТОКА В ЦИРКУЛЯРНОЙ ЭКОНОМИКЕ

В.Д. Александрова, магистрант

Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева
(Россия, г. Самара)

DOI: 10.24411/2500-1000-2018-10316

Аннотация. Многие страны переходят с линейной экономической модели на циркулярную экономику, являющуюся частью устойчивого развития. Циркулярная экономика предполагает использование альтернативных «чистых» источников энергии (ветровая, солнечная, кинетическая и т.д.). В настоящее время ведутся дискуссии о том, является ли ядерная энергия экологически безопасной. Для ответа на этот вопрос автором были изучены экологические аспекты ядерной энергии и особенности материального потока урана.

Ключевые слова: ядерная энергия, циркулярная экономика, устойчивое развитие, альтернативные источники энергии, экологические аспекты ядерной энергии.

В настоящее время многие страны переходят с экономической традиционной модели, функционирующей по принципу «добыть, использовать, выбросить», на циркулярную модель, чья концепция заключается в «чистом» производстве. Анализируя переход на циркулярную экономику, необходимо изучить альтернативные

источники энергии, в том числе – ядерную.

Для оценки потенциальных возможностей и опасностей использования ядерной энергетики необходимо провести оценку жизненного цикла ядерного топлива. Ядерный топливный цикл представлен на рисунке 1.

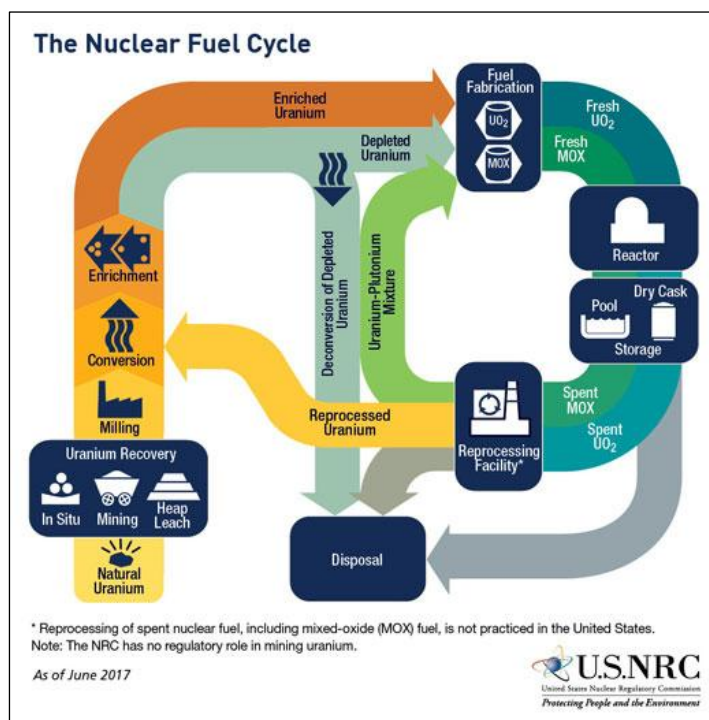


Рис. 1. Ядерный топливный цикл

Первым этапом является добыча сырья для ядерного топлива, т.е. урана (около 99,4% земного урана приходится на уран-238, и всего 0,6% – на уран-235). В настоящее время уран добывается тремя разными способами. Следующим этапом является переход концентрата урановой руды в гексафторид урана (UF_6) и происходит обогащение для увеличения концентрации урана-235 (U^{235}) в UF_6 . Далее - деконверсия для уменьшения опасностей, связанных с гексафторидом обедненного урана (DUF6) или шлама, полученными на более ранних этапах топливного цикла. После этого изготавливается топливо для преобразования природного и обогащенного UF_6 в UO_2 или сплав урана для дальнейшего использования в качестве топлива в ядерных реакторах. Этот этап также включает изготовление смешанного оксидного топлива. Следующий этап включает непосредственно использование топлива в реакторах (ядерная энергетика, исследования или морское движение), после чего ОЯТ временно хранится. Высокоактивные отходы либо перерабатываются, и происходит рециркуляция, либо утилизируются [1].

Наиболее опасными и критичными являются этапы обогащения урановой руды в виду химических и физических особенностей, транспортировка. Отдельно стоит отметить этап утилизации, так как единица ядерного топлива способна выделять на протяжении долгого времени значительное количество тепла и ионизирующего излучения, в том числе отработанное.

Вариант переработки ОЯТ является крайне экологически и экономически выгодным, так как такое топливо имеет как минимум 2 полезных компонента – это невыгоревший уран (глубина выгорания металла никогда не достигает 100%) и трансурановые радионуклиды. Как было отмечено ранее, в некоторых странах ОЯТ не отправляют на повторную переработку. Другие страны, среди них и Россия, работают над замкнутым топливным циклом. Он позволяет существенно сократить расходы на производство ядерного топлива, поскольку повторно используется часть ОЯТ. При переработке топливные стержни

растворяются в кислоте, после чего исследователи выделяют из отходов плутоний и неиспользованный уран. Около 3% сырья эксплуатировать повторно невозможно, это высокоактивные отходы, которые проходят процедуры битумирования или остекловывания. Из отработавшего ядерного топлива можно получить 1% плутония. Этот металл не требуется обогащать, Россия использует его в процессе производства инновационного MOX-топлива [2].

Что касается запасов первичного сырья, на данный момент добыча урана осуществляется на территории большого числа месторождений. Уран добывают в 28 странах мира, но основные мировые запасы принадлежат 10 государствам, которые делят 90% рынка [3]:

- Австралия (661 000 т – 15,36% от всех мировых запасов);
- Казахстан (629 000 т – 14,61%);
- Россия (487 000 т – 11,31%);
- Канада (468 000 т – 10,87%);
- Нигер (421 000 т – 9,78%);
- ЮАР (297 000 т – 6,90%);
- Бразилия (276 700 т – 6,43%);
- Намибия (261 000 т – 6,06%);
- США (207 000 т – 4,81%);
- Китай (166 000 т – 3,86%).

Если анализировать запасы урана по разновидностям отложений, то жилы уранинита или урановой смолки (диоксид урана UO_2) встречаются в Демократической Республике Конго, Канаде (Большое Медвежье озеро), Чехии и Франции. Вторым источником урана являются конгломераты ториевой и урановой руды совместно с рудами других важных минералов, чьи крупные месторождения находятся в Канаде, ЮАР, России и Австралии. Третьим источником урана являются осадочные породы и песчаники, богатые минералом карнотитом, который содержит, кроме урана, значительное количество ванадия и других элементов, и такие руды встречаются в западных штатах США. Железо-урановые сланцы и фосфатные руды, четвертый источник отложений, обнаружены в глинистых сланцах Швеции. Некоторые фосфатные руды Марокко и США содержат значительные количества урана, а фосфатные залежи в Анголе и Централь-

ноафриканской Республике ещё более богаты ураном [4].

Основными месторождениями урана в России являются: Стрельцовское, Октябрьское, Антей, Мало-Тулукуевское, Аргунское молибден-урановые в вулканитах (Читинская область), Далматовское урановое в песчаниках (Курганская область), Хиагдинское урановое в песчаниках (Республика Бурятия), Южное золото-

урановое в метасоматитах и Северное урановое в метасоматитах (Республика Якутия). Контроль над основными уранодобывающими активами осуществляет корпорация «Росатом». Она объединяет Международный горнорудный дивизион Uranium One и имеет портфель акций в США, Казахстане и Танзании [4].

На рисунке 2 отражена схема добычи урана с 2013 года и прогноз до 2035 года.

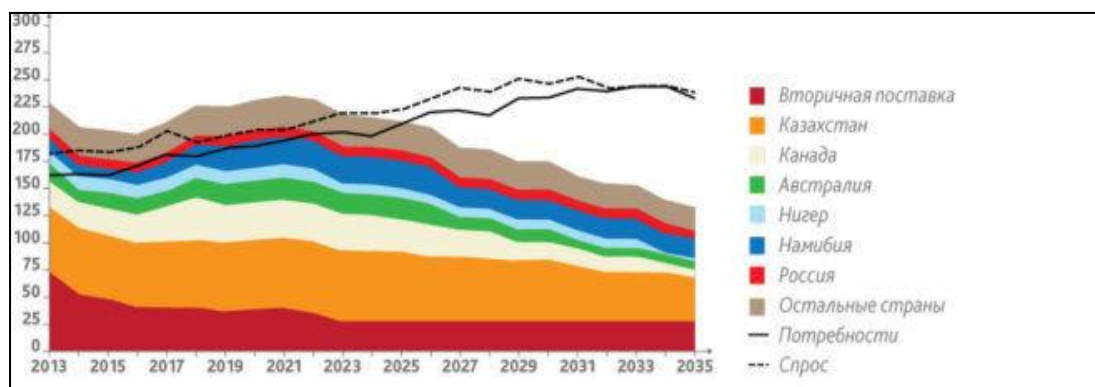


Рис. 2.- Схема добычи урана

По прогнозам, запасов урана как первичного сырья (примерно 4,7 млн тонн) хватит на 85 лет работы атомных электростанций мира. Однако потребности человечества растут очень быстро, а также появляется понимание того, что ядерную энергетику можно использовать в больших масштабах [5]. Следовательно, постепенно будут снижаться запасы урана как первичного сырья, поэтому необходима поставка урана и ядерного топлива из вторичных источников [4]:

- Переработанный уран и плутоний из отработанного топлива;
- Повторно обогащенные хвосты обедненного урана;
- Военный оружейный уран;
- Гражданские запасы;
- Военный плутоний оружейной марки, как топливо МОХ.

Главные коммерческие перерабатывающие заводы работают во Франции и Великобритании с мощностью более чем 4000 тонн используемого топлива ежегодно. Продукция данных заводов повторно входит в топливный цикл и используется при изготовлении свежей смешанной окиси (МОХ) топливных элементов. Прибли-

зительно 200 тонн МОХ используются каждый год, что эквивалентно не менее чем 2000 тонн U_3O_8 от шахт. Также оружейный сорт может быть перемешан в отношении с обедненным ураном, чтобы уменьшить содержание U-235 приблизительно до 4%, подходящих для использования в энергетическом реакторе. С 1999 по 2013 год из 30 тонн оружейного урана ежегодно производят приблизительно 10,600 тонн урана для гражданских реакторов [4].

Итак, анализ воздействия на экологию показал, что наиболее опасными этапами являются обогащение урановой руды, транспортировка и утилизация отходов. Что касается запасов первичного и вторичного сырья урана, на данный момент уран добывают в 28 странах мира, но лидерами являются 10 стран, в том числе Россия. Лидерами по вторичному сырью являются Россия, Франция и Великобритания. В ходе исследования автором сделан вывод, что ядерная энергетика может рассматриваться как чистый и надежный источник энергии, однако также необходим анализ технологических, экономических и социальных факторов.

Библиографический список

1. *Stages of the Nuclear Fuel Cycle* [Электронный ресурс]: Научный портал – URL: <https://www.nrc.gov/materials/fuel-cycle-fac/stages-fuel-cycle.html> (дата обращения: 02.12.2018).
2. *Жизнин С.З., Тимохов В.М. Геополитические и экономические аспекты развития ядерной энергетики* [Электронный ресурс]: Научная статья // Энергетическая политика и дипломатия: к 15-летию МИЭП (г. Москва, май 2015 г.). – Москва: Московский государственный институт международных отношений (университет) МИД России, 2015. – С. 64-73. – URL: http://www.vestnik.mgimo.ru/sites/default/files/pdf/007_zhizninsz_timohovvm_0.pdf (дата обращения: 02.12.2018).
3. *Технология добычи урана* [Электронный ресурс]: Новостной портал – URL: <https://promzn.ru/drugoe-proizvodstvo/dobycha-urana.html#i> (дата обращения: 04.12.2018).
4. *Мировой рынок урана* [Электронный ресурс]: Библиотечный портал – URL: <http://www.cmmarket.ru/markets/unworld.htm> (дата обращения: 04.12.2018).
5. *Мировых запасов урана хватит на 2,5 тысячи лет, но при разумном использовании* [Электронный ресурс]: Новостной портал – URL: <https://www.newsru.com/world/06jun2006/uranium.html> (дата обращения: 04.12.2018).

ECOLOGICAL ASPECTS OF NUCLEAR ENERGY AND THE FEATURES OF THE MATERIAL FLOW IN A CIRCULAR ECONOMY

V.D. Alexandrova, *graduate student*
Samara university
(Russia, Samara)

Abstract. *Many countries are moving from a linear economic model to a circular economy, which is part of sustainable development. The circular economy involves the use of alternative "clean" energy sources (wind, solar, kinetic, etc.). Discussions are currently under way on whether nuclear energy is environmentally friendly. To answer this question, the author studied the environmental aspects of nuclear energy and the characteristics of the material flow of uranium.*

Keywords: *nuclear energy, circular economy, sustainable development, alternative energy sources, environmental aspects of nuclear energy.*