JEL: D24, L23, L72, Q41, Q47

УДК 621.039+339.13

DOI: [10.14530/se.2018.1.154-169](https://doi.org/10.14530/se.2018.1.154-169)

ТЕКУЩИЕ ТЕНДЕНЦИИ НА МИРОВОМ РЫНКЕ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

М.М. Осецкая, В.Ф. Украинцев

Осецкая Мария Михайловна – кандидат экономических наук, руководитель проекта ресурсно-кадрового центра компетенций по операционным процессам, магистр ядерной физики и технологий. Техническая академия Росатома, ул. Курчатова, 21, Обнинск, Калужская область, Россия, 249031. E-mail: MMOsetskaya@rosatomtech.ru.
ORCID: 0000-0001-8087-2172

Украинцев Владимир Федорович – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, ведущий специалист Института специальных систем. Государственный научный центр Российской Федерации – Физико-энергетический институт им. А.И. Лейпунского, пл. Бондаренко, 1, Обнинск, Калужская область, Россия, 249033. E-mail: vukraintsev@ippe.ru.
ORCID: 0000-0001-6302-1317

Аннотация. Проведен обзор рынка ядерных энергетических технологий, а именно основных переделов начальной и заключительной стадий ядерного топливного цикла, который позволил выявить ключевых игроков рынков добычи природного урана, конверсии, обогащения, фабрикация ядерного топлива, прямого захоронения и переработки отработавшего ядерного топлива. Выявлены фундаментальные факторы, оказывающие решающее влияние на тенденции развития мирового рынка ядерной энергетики: ввод в эксплуатацию блоков в Китае, Индии, Республике Корея и других государствах, перезапуск японских АЭС; рост долгосрочной контрактации планируемых в период до 2025 г. поставок урана; волатильность мировых цен на переделы начальной и заключительной стадий ядерного топливного цикла, политические, экономические и экологические причины выбора ядерной генерации энергии. Представлены результаты анализа российских и мировых цен переделов ядерного топливного цикла, позволяющие сделать вывод о текущей конкурентоспособности ядерных энергетических технологий.

Ключевые слова: рынок ядерной энергетики, ядерный топливный цикл, уран, конверсия, обогащение, фабрикация, отработанное ядерное топливо, цена, конкурентоспособность, АЭС, тенденции

Для цитирования: Осецкая М.М., Украинцев В.Ф. Текущие тенденции на мировом рынке ядерной энергетики // Пространственная экономика. 2018. № 1. С. 154–169. DOI: [10.14530/se.2018.1.154-169](https://doi.org/10.14530/se.2018.1.154-169).

For citation: Osetskaya M.M., Ukraintsev V.F. Current Trends in the Nuclear Power Global Market. *Prostranstvennaya Ekonomika = Spatial Economics*, 2018, no. 1, pp. 154–169. DOI: [10.14530/se.2018.1.154-169](https://doi.org/10.14530/se.2018.1.154-169). (In Russian).

ВВЕДЕНИЕ

Глобальный рынок ядерных энергетических технологий в настоящее время подвергается существенным структурным изменениям ввиду роста конкуренции как на рынке генерации электроэнергии, так и на рынках энергетического машиностроения, ядерной медицины, радиофармпрепаратов и сельхозрадиологии. Проблемы энергообеспечения и энергетической безопасности вызывают обеспокоенность мирового ядерного сообщества по причине истощения традиционных органических энергоносителей, обострения противоречий между странами-импортерами и экспортерами энергоресурсов, политической и экологической нестабильности (вредные выбросы, парниковые газы, захоронение отходов), усиления санкционного режима против ряда государств.

Последние тенденции развития ядерной энергетики не ставят под сомнение ее ресурсообеспеченность и позволяют говорить о наличии достаточной ресурсной базы, источниками которой являются:

- залежи урана (по классификации МАГАТЭ), отнесенные к категориям EAR-I, EAR-II (Велихов и др., 2008; Соколова, 2015; Valle, Furlan, 2014);
- уран, содержащийся в морской воде (Fukaya, Goto, 2017; Tamada and al., 2006);
- наработанный плутоний (Михалевич, 2011, с. 25; Мосеев и др., 2013) в случае перехода на уран-плутониевый топливный цикл;
- запасы тория (Михалевич, 2011, с. 26, 63) при реализации уран-ториевого топливного цикла.

Мировое потребление первичных энергоресурсов и электроэнергии с учетом различных видов генерации и сценариев развития мировой энергетики характеризуется существенным ростом к 2040 г. доли альтернативных источников энергии и незначительным ростом ядерной энергетики. Согласно текущему сценарию развития энергетики, доля ископаемого топлива в структуре мирового спроса останется относительно стабильной и к 2040 г. сократится лишь на 2,35% (с 81,01 до 78,66%). Реализация 450 Scenario, заключающегося в сокращении выбросов парниковых газов в атмосферу и росте использования возобновляемых источников энергии, позволяет прогнозировать снижение использования ископаемого топлива к 2040 г. с 81,01 до 57,98%, т. е. на 23,03%. В каждом сценарии наблюдается значительное снижение доли нефти, компенсацию которой планируется осуществлять преимущественно за счет альтернативных источников энергии и ядерной энергетики (World..., 2016). Несмотря на различные сценарии развития мировой энергетики, доля ядерной энергетики в мировой выработке электроэнергии остается достаточно стабильной: 11% в 2015 г., 11,5% в 2016 г. и 11–12% к 2020 г.

Мировой рынок ядерной энергетики демонстрирует устойчивую динамику разнонаправленных процессов. Выход на рынок ядерной энергетики новых игроков, таких как Бангладеш, Бразилия, Египет, Китай, Индия, Индонезия, Иран, ЮАР и других, заинтересованных в перспективных разработках ядерных технологий, обостряет конкуренцию между ведущими игроками в наиболее конкурентных сферах: подготовке высококвалифицированных кадров, строительстве и инжиниринге АЭС, поставке и переработке ядерного топлива (ядерном топливном цикле).

Рассматривая ядерную энергетику комплексно, условно выделим несколько мировых рынков:

- горнорудный: добыча природного урана, в том числе как побочного продукта при добыче золота, на разных стадиях жизненного цикла, начиная геологоразведкой и заканчивая интенсивной промышленной эксплуатацией месторождений;
- топливный: обогащение урана, разработка и производство газовых центрифуг и оборудования к ним, производство и реализация ядерного топлива, в т. ч. производство и реализация тепловыделяющих сборок (ТВС) для всех типов действующих энергетических, исследовательских и судовых реакторов;
- машиностроительный: обеспечение полного спектра решений в области проектирования, производства и поставки оборудования для атомной энергетики, включая НИОКР и выпуск рабочей документации, до проектирования технологических процессов и производства оборудования;
- инжиниринговый: оказание услуг в области управления проектами по сооружению и модернизации сложных инженерных объектов, в т. ч.: проектирование и строительство АЭС, управление проектами, сооружение исследовательских реакторов; сооружение и модернизация объектов обращения с радиоактивными отходами (РАО) и отработанным ядерным топливом (ОЯТ) и вывод из эксплуатации ядерных радиационных объектов; сервисные услуги;
- электроэнергетический: производство электрической и тепловой энергии на атомных станциях;
- ядерный оружейный: строительство и эксплуатация атомоходов.

Ввиду объемности исследований, посвященных тенденциям развития ядерной энергетики в целом, предложено остановиться на изучении рынков ядерного топливного цикла (ЯТЦ), включающих ряд функционалов горнорудного, топливного, машиностроительного и энергетического мировых комплексов. В данной работе акцент сделан на оценке текущих тенденций основных стадий ядерного топливного цикла ЯТЦ, переделы которых представляют самостоятельные рыночные сегменты: начальная стадия – рынок добычи природного урана, рынок конверсии и обогащения урана, рынок фа-

брикации; заключительная стадия – рынок обращения с радиоактивными отходами и отработавшим ядерным топливом.

Рынок природного урана. По данным Всемирной ядерной ассоциации (World Nuclear Association)¹, потребность в природном уране незначительно увеличилась в 2017 г., что представлено на рисунке 1.

Рис. 1. Потребление природного урана, 2006–12.03.2018 г., т

Источник: составлено авторами по: World..., 2018.

Причинами роста прогнозируемой потребности в 2017 г. по сравнению с 2016 г. являются принятые программы развития атомной энергетики малой мощности в США, планируемое строительство семи энергоблоков общей мощностью 8000 МВт в Китае, развитие центров ядерных технологий неэнергетической сферы, снижение стоимости переделов начальной стадии ЯТЦ.

Динамика к снижению цен на природный уран неблагоприятна для лидеров этого рынка, которыми являются Kazatomprom (Казахстан, 19%), Cameco (Канада, 17%), AREVA (Франция, 16%), ARMZ / Uranium One (Россия, 13%), BHP Billiton (Австралия – Великобритания, 5%), RioTinto (Австралия – Великобритания, 5%), Navoi (Узбекистан, 4%), CNNC (Китай, 4%), Paladin Energy (Австралия, Канада, Намибия, 2%), CGNPC (Альянс CNNC и CGN, Китай, 2%) и другие (12%) (Regulated..., 2017). При этом полную интегрированную цепочку производства урана предлагают рынку три атомных гиганта – AREVA, Росатом, CNNC.

Отметим, что на протяжении 2016–2017 гг. компания AREVA находилась в процессе реорганизации, по результатам которой в конце 2017 г. была образована компания Orano. Направлениями деятельности Orano являются до-

¹ Отметим, что публикуемую на сайте Всемирной ядерной ассоциации (ВЯА) информацию необходимо кросс-верифицировать, что обусловлено некоторыми неточностями содержащихся в ней данных. Так, например, выработка электроэнергии на АЭС России за 2016 г., по данным ВЯА, составляет 179,27 млрд кВт·ч (World..., 2018), по данным ГК Росатом – 196,4 млрд кВт·ч (Публичная..., 2016).

быча, конверсия и обогащение урана, переработка ОЯТ, логистика, вывод из эксплуатации и инжиниринг. Далее авторы используют название компании AREVA, так как временной отрезок исследования составляет в основном период до середины 2017 г.

Незначительные изменения на рынке природного урана обусловлены низкими темпами развития большинства действующих проектов в условиях неблагоприятной конъюнктуры цен, сложностями в поиске финансирования и подтверждения сбыта продукции, что отразилось на динамике структуры мирового рынка добычи природного урана за 2015–2016 гг. (рис. 2). Основной вклад в динамику роста общемирового показателя добычи природного урана внесли Казахстан, Канада, Австралия и Намибия, существенное сокращение наблюдалось в Нигерии и США (более 10%).

Изменения коснулись Cameco (Канада), AREVA (Франция), RioTinto (Австралия – Великобритания), где наблюдалось снижение долей рынка на 1% соответственно и возрастание доли аутсайдеров с 12 до 15%. Так, Cameco объявила о консервации рудника Eagle Point в Канаде и приостановке бурения на предприятиях подземного выщелачивания в США, авария в системе электроснабжения Южной Австралии привела к приостановке производства на руднике Olympic Dam. Исключением стал рудник Cigar Lake в Канаде (Cameco, AREVA), где производство урана выросло в полтора раза. Ввод в опытную эксплуатацию рудника Husab в Намибии, принадлежащего китайской CGN, позволяет сделать вывод о потенциальном росте доли китайских компаний на мировом рынке добычи природного урана.

Рис. 2. Сегментирование мирового рынка природного урана, 2015–2016 гг., %
Источник: составлено авторами по: Regulated..., 2017.

Перспективы развития мирового рынка природного урана обуславливаются следующими фундаментальными факторами:

- повышением спроса по мере перезапуска японских АЭС, ввода в эксплуатацию блоков в Китае, Индии, Республике Корея и других государствах, где отсутствует инфраструктурная составляющая сырьевой базы урана;
- снижением предложения урана, связанным с интенсивной разработкой действующих месторождений и затратностью освоения новых;
- сокращением вовлечения вторичных источников урана (добытого и переработанного ранее) по мере использования наиболее ликвидной их части;
- ростом долгосрочной контрактации в части поставок урана, планируемых в период до 2025 г.

На рынке природного урана осуществляются продажи не природного урана, а закиси-окси. Динамика изменения среднегодовых спотовых цен на уран по состоянию на 12.03.2018 г. продемонстрирована на рисунке 3. За период 2011–2018 гг. цены упали в 2,7 раза.

Рис. 3. Среднегодовые спотовые цены на уран, долл. США/фунт закиси-окси урана
Источник: составлено авторами по: UxC..., 2017.

Устойчивое снижение цен на природный уран представляет собой новый вызов игрокам рынка природного урана. Однако ввиду ввода новых объектов ядерной энергетики в перспективе до 2025 г. возникает необходимость разработки месторождений с высокой себестоимостью, что приведет к росту цен на природный уран с середины 2020-х гг.

Отметим, что сегментирование мирового рынка природного урана несколько условно. Это связано с приобретением мировыми игроками акций компаний, владеющих месторождениями природного урана в других странах. Так, добыча французской AREVA природного урана в Канаде составляет 72 834 т тяжелого металла (тм): шахта Cigar Lake – 30 222 тм, Key Lake – 47 тм, McArthur River – 42 375 тм, McClean – 190 тм; в Казахстане на шахте Katco – 4255 тм; в Нигерии – 104 785 тм на шахтах: Cominak – 2754 тм, Imouraren – 100 439 тм, Somaïr – 1591 тм. АО «НАК «Казатом-

пром» имеет совместные проекты в области добычи и переработки урана с Россией, Канадой, Францией, Китаем и Японией; в области ЯТЦ – с Россией, Канадой и Францией; в области поставки урана – с Китаем, США, Республикой Корея, странами ЕС, Японией и Индией. Самесо на мировом рынке ядерной энергетики позиционирует себя как одного из крупнейших производителей природного урана с мировой долей рынка в 17%, что соответствует данным отчетов AREVA (Regulated..., 2017), а также мирового лидера по конверсии урана с долей рынка в 25%, что, однако, не отражается в отчетах других компаний. По данным Самесо объем услуг по конверсии компании составил в 2016 г. 50 млн кг гексафторида урана (Annual Report..., 2016).

Рынок конверсии и обогащения урана. Рынок конверсии и обогащения урана предлагает обогащенный урановый продукт и услугу по обогащению урана, измеряемую единицами работы разделения (ЕРР), лидерами на котором являются следующие компании: Rosatom (Россия, 44%), URENCO (Великобритания, Германия, Нидерланды, 32%), AREVA (Франция, 13%), CNNC (Китай, 10%) и другие (1%) (Regulated..., 2017), доли которых за 2015–2016 гг. представлены на рисунке 4.

Рис. 4. Сегментирование мирового рынка конверсии и обогащения за 2015–2016 гг., %
Источник: составлено авторами по: Regulated..., 2017.

Представленная компанией AREVA информация несколько не совпадает с отчетными данными ГК Росатом, где доля корпорации возросла на 1% и составила 45% за счет выхода на мировой рынок российских ТВС для реакторов западного дизайна типа PWR. Так, подписано соглашение между АО «ТВЭЛ» и компанией Global Nuclear Fuel-Americas (GNF-A) о формировании стратегического альянса в целях организации совместной деятельности по лицензированию, маркетингу и фабрикации топлива для операторов реакторов PWR в США; заключен первый контракт на опытно-промышленную эксплуатацию российского топлива ТВС-КВАДРАТ между АО «ТВЭЛ» и одним из операторов АЭС США; подписан контракт между АО «ТВЭЛ» и компанией Vattenfall

Nuclear Fuel AB (Швеция) на коммерческие поставки ядерного топлива конструкции ТВС-КВАДРАТ для АЭС «Рингхальс» в Швеции. По мнению российских экспертов, доля рынка компании URENCO снизилась на 1%, что обусловлено тенденциями на мировом энергетическом рынке по снижению доли ядерной генерации в пользу альтернативных источников энергии.

Самесо, заявляя о лидерстве в области конверсии, декларирует о совместном с GE-Hitachi Global Laser Enrichment (GLE) тестировании технологии обогащения третьего поколения, которое в случае успеха планируется коммерциализировать. При этом доля Самесо в GLE составляет 24%.

Современной технологией обогащения, которую использует большинство стран, является центрифужная технология, преимущество которой перед газодиффузионной – более низкая энергоемкость. Так, расходы на электроэнергию газодиффузионного метода разделения изотопов составляют $2500 \frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{ЕРР}}$, центрифужного – $100 \frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{ЕРР}}$. Потребность в электроэнергии при обогащении опытными лазерными технологиями составляет примерно $50 \frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{ЕРР}}$. В 2016 г. новым импульсом развития лазерной технологии послужило подписание соглашения между Министерством энергетики США и компанией Global Laser Enrichment о дообогащении отвалов, что, однако, не окажет существенного влияния на рынок в связи с незначительными объемами производства. Изменение среднегодовых спотовых котировок на обогащение по состоянию на 12.03.2018 г. отражено на рисунке 5. За период 2011–2018 гг. падение составило 4 раза.

Рис. 5. Среднегодовые спотовые котировки на обогащение, долл. США/ЕРР

Источник: составлено авторами по: УхС..., 2017.

Очевидно снижение стоимости на всех переделах начальной стадии ЯТЦ. Падение цен на обогащение объясняется как применением современных средств технического оснащения, что удешевляет процесс обогащения

урана, и внедрением принципов бережливого производства, так и общемировыми тенденциями конкурентной борьбы. Также следует отметить создание альянсов на рынке конверсии и обогащения урана. Так, во Франции переделы начальной стадии ЯТЦ распределены между двумя крупными производствами: Malvési и Tricastin. На первом, мощностью 14 тыс. ттм, осуществляется тетрафторирование урана, на втором, мощностью 14 тыс. ттм, – гексафторирование. Обогащение до требуемых начальных концентраций по 235 изотопу урана осуществляется на заводе Georges Besse II Société d'Enrichissement du Tricastin (SET), мощностью 7,5 млн ЕРР, на площадке Tricastin. Отметим, что AREVA Holding владеет 50% долей совместно с URENCO в компании по обогащению, которая также производит используемые данной технологией центрифуги.

Рынок фабрикации. Аналогично рынку конверсии и обогащения, на рынке фабрикации (изготовление топлива) за 2015–2016 гг. лидирует ограниченное количество компаний: Westinghouse – Toshiba (29%), AREVA (25%), CNNC (12%), GNF (9%), Rosatom (16%) и другие (9%) со стабильными долями рынка, что проиллюстрировано на рисунке 6 (Regulated..., 2017).

Рис. 6. Сегментирование мирового рынка фабрикации топлива, 2015–2016 гг., %
Источник: составлено авторами по: Regulated..., 2017.

Несмотря на возрастающие объемы производства продукции российских предприятий комплекса фабрикации, доля ГК Росатом снизилась на 1%, что обусловлено, по мнению авторов, по большей части политическими факторами: отказ Украины от использования ТВС российского дизайна и переход на ТВС компании Westinghouse. В настоящее время Украина эксплуатирует 15 энергоблоков установленной мощностью 13 835 МВт (Финансовая..., 2017) с прогнозной ежегодной потребностью в уране в размере 1944 т (World..., 2016), что составляет примерно 3% мирового потребления природного урана, или 215 т обогащенного урана (примерно 1% мирового рынка фабрикации топлива).

Фабрикацию топлива для почти всех типов легководных реакторов (LWR) осуществляет Westinghouse Electric Company, основными рынками сбыта которой являются страны Западной Европы и США и в перспективе страны Восточной Европы. Топливо для реакторов типов PWR и BWR производит французская AREVA, потребителями которой являются государства Западной Европы. Global Nuclear Fuel (GNF), представляя собой совместное предприятие GE, Hitachi и Toshiba с двумя подразделениями на японском рынке и остальных рынках, производит топливо только для реакторов типа BWR. Потребности России, Ирана, Чехии, Словакии, Венгрии, Болгарии и Армении были полностью обеспечены ГК Росатом, как и частично потребности Украины (85%), Финляндии (36%), Индии (31%) и Китая (3%). В кооперации с компанией AREVA были поставлены топливо и компоненты на западноевропейские АЭС. Таким образом, можно утверждать, что активная позиция участников рынка фабрикации формирует новые вызовы существующим технологиями, побуждая наращивание темпов их развития и дальнейшего продвижения.

Рынок обращения с радиоактивными отходами и отработавшим ядерным топливом. Заключительная стадия ЯТЦ зависит от принятой в стране стратегии обращения с радиоактивными отходами (РАО) и отработанным ядерным топливом (ОЯТ). Стратегии обращения с РАО и ОЯТ условно делятся на стратегию прямого захоронения и стратегию переработки. Странами, реализующими стратегию прямого захоронения, являются США, Швеция, Финляндия, Испания, Канада; стратегию переработки ОЯТ – Франция, Россия, Великобритания, Индия, Китай и Япония. Преимуществом российских технологий переработки ОЯТ является их относительно низкая стоимость по сравнению с зарубежными, что, тем не менее, нивелируется более низкими мировыми ценами на передельной начальной стадии ЯТЦ. Следовательно, перспективными направлениями достижения лидерских позиций на мировом рынке отечественными перерабатывающими заводами является развитие технологий переработки ОЯТ реакторов PWR. Лидерами с устойчивой долей рынка обращения, переработки и утилизации РАО и ОЯТ являются ГК Росатом, AREVA, EnergySolutions, Steag, Studsvik, OneTechnologies, URS, Westinghouse, EWN, Holtec, SKB, Skoda и GNS.

Основными передельями технологии прямого захоронения являются транспортировка и промежуточное хранение, инкапсулирование и прямое захоронение; переработки ОЯТ – транспортировка и промежуточное хранение, переработка ОЯТ, остекловывание и захоронение РАО. Одним из наиболее востребованных в мире заводов по переработке ОЯТ является AREVA la Hague (Франция), переработка которого в 2016 г. составила

1118 ттм, а производство остеклованных РАО составляет 999 контейнеров. При этом стоимость переработки составляет примерно 900–1000 долл. США/кг. В России функционирует завод РТ-1 (мощностью 400 т/год) и планируется к вводу в эксплуатацию РТ-2 (1000 т/год), а также опытный демонстрационный центр, на которых осуществляется переработка топлива реакторов ВВЭР-440 и БН, планируется перерабатывать ОЯТ реакторов ВВЭР-1000. Стоимость переработки ОЯТ варьирует от 400 до 600 долл. США/кг. Рассматривается возможность переработки ОЯТ реакторов РБМК-1000, что, по мнению авторов, нецелесообразно с экономической точки зрения ввиду низкого содержания делящихся материалов в ОЯТ (Осецкая, Алленых, 2017). Отметим низкую рентабельность и высокую стоимость переработки ОЯТ на заводе THORP (Великобритания), которая колеблется в пределах 2000 дол. США/кг и является неконкурентной на мировом рынке переработки ОЯТ.

В случае возврата топлива в цикл стоимость рециклированного топлива (начальная и заключительная стадия ЯТЦ) снижается за счет экономии на стоимости природного урана, конверсии и работе разделения. Однако стоимость изготовления ТВС из рециклированного топлива возрастает ввиду роста сложности технологии изготовления, так как имеет место радиотоксичность рециклируемого топлива. В данной работе не рассматривается рынок рециклирования топлива ввиду его объемности. Однако отметим, что AREVA MELOX (Франция) является мировым лидером на рынке производства вторичного (МОХ) ядерного топлива. Так, в 2016 г. на AREVA MELOX было произведено 124 ттм МОХ-топлива для французских и иностранных потребителей, например, для японского заказчика Kansai Electric Power Company.

В заключение отметим, значительная волатильность цен переделов ЯТЦ оказывает существенное влияние на оценку конкурентоспособности АЭС по критерию «расходы на ядерное топливо». В таблице представлены результаты изменения мировых цен переделов начальной и заключительной стадий ЯТЦ по данным открытых источников финансовой, бухгалтерской и годовой отчетности АО «Атомредметзолото», АО «ТВЭЛ», АО «Концерн Росэнергоатом», ФГУП «ПО МАЯК», ГК Росатом, The Ux Consultin Company, AREVA, Cameco, URENCO.

В отчетах большинства мировых лидеров в области ядерной энергетики тенденции развития ядерного энергетического комплекса характеризуются как стабильно растущие за счет прогнозируемого «перезапуска» ядерной программы Японии с реакторами нового класса безопасности 3+, строительства новых энергоблоков в таких регионах, как Китай, Азия, Россия, Индия, Северная и Латинская Америка, Европа и других.

Таблица

Цены (российские и мировые) на основные переделы начальной и заключительной стадий ядерного топливного цикла, долл. США/кг

Наименование		Цена в России	Цена мирового рынка		
			20.09.2017	27.11.2017	12.03.2018
1. Начальная стадия ядерного топливного цикла					
Добыча природного урана (U ₃ O ₈)		40	44	56	47
Конверсия		7–17	5	4,5	6,5
Обогащение, долл. США/ЕРР		24	43	40	37
Фабрикация ядер- ного топлива	Тепловые реакторы	168–200	92	90	90
	Быстрые реакторы	2000	(...)	(...)	(...)
2. Заключительная стадия ядерного топливного цикла					
2.1. Прямое захоронение отработанного ядерного топлива					
Транспортировка и промежуточное хранение		100	230	230	230
Инкапсулирование и прямое захоронение		400	610	610	610
2.2. Переработка отработанного ядерного топлива					
Транспортировка и промежуточное хранение		25–40	60	60	60
Переработка отработанного ядерного топлива		335–500	820	820	820
Остекловывание и захоронение радиоактивных отходов		40–60	100	100	100

Источники: составлено авторами по данным: АРМЗ, 2017; Итоги..., 2017; Годовые..., 2017; МАЯК, 2017; Публичная..., 2017; UxC..., 2017; Regulated..., 2017; Annual Report..., 2017; Annual Report and..., 2017.

ВЫВОДЫ

Исследование текущих тенденций развития рынков начальной и заключительной стадий ядерного топливного цикла позволяет утверждать, что к настоящему времени сформировалась устойчивая группа лидеров (в порядке убывания долей рынка):

- добыча природного урана: Kazatomprom (Казахстан), Cameco (Канада), AREVA (Франция), ARMZ / Uranium One (Россия), BHP Billiton (Австралия – Великобритания), RioTinto (Австралия – Великобритания), Navoi (Узбекистан), CNNC (Китай), Paladin Energy (Австралия, Канада, Намибия), CGNPC (Альянс CNNC и CGN, Китай) и другие. При этом полную интегрированную цепочку производства урана предлагают рынку три атомных гиганта – AREVA, Росатом, CNNC;

- конверсия и обогащение урана: Rosatom (Россия), URENCO (Великобритания, Германия, Нидерланды), AREVA (Франция), CNNC (Китай) и другие;

- фабрикация ядерного топлива: Westinghouse –Toshiba (Великобритания-Япония), AREVA (Франция), CNNC (Китай), GNF (Япония), Rosatom (Россия) и другие;

• рынок переработки ОЯТ: Rosatom (Россия), AREVA (Франция), EnergySolutions (США, Канада, Япония), Steag (Германия), Studsvik (Швеция), OneTechnologies (США), URS (США), Westinghouse (Великобритания), EWN (Нидерланды – США), Holtec (Германия), SKB (Швеция), Skoda (Чехия) и GNS (Германия).

При этом переделы сфер влияния между ключевыми игроками и аутсайдерами незначительны. Формирование кластеров, слияние и поглощение компаний, их дальнейшая вертикально-горизонтальная интеграция, создание транснациональных альянсов ядерных коалиций приводят к усилению влияния мировых лидеров: ГК Росатом (Россия); Toshiba – Westinghouse (Япония – США); General Electric – Hitachi (США – Япония); AREVA – Mitsubishi Heavy Industries (Франция – Япония).

Мировые цены на все переделы начальной и заключительной стадий ядерного топливного цикла характеризуются снижением и значительной волатильностью, обусловленной как политическими факторами (санкции, выбор в пользу альтернативных видов генерации энергии), так и социально-экономическими (повышение уровня безопасности строящихся энергоблоков до 3+, наличие ресурсной базы и объектов ядерной инфраструктуры).

Проведенный анализ российских и мировых цен на добычу природного урана, конверсию, обогащение, фабрикацию ядерного топлива, прямое захоронение и переработку ОЯТ позволяет сделать вывод о существенном конкурентном преимуществе российских технологий, прежде всего, на рынках обогащения и переработки ОЯТ. Однако текущая негативная динамика к снижению мировых цен в скором времени может привести к нивелированию экономических преимуществ отечественных ядерных энергетических технологий.

Благодарность

Авторы выражают глубокую благодарность начальнику отдела тематического планирования и обеспечения работ ИСС АО «ГЦН РФ – ФЭИ» В.Е. Чеховичу за неоценимые советы при подготовке данного материала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- АРМЗ. 2017. URL: http://www.armz.ru/shareholders_and_investors/information_disclosure/ (дата обращения: октябрь 2017).
- Велихов Е.П., Гагаринский А.Ю., Субботин С.А., Цибульский В.Ф. Энергетические ресурсы планеты и России // Энергия: экономика, техника, экология. 2008. № 2. С. 2–10.
- Годовые отчеты / Концерн Росэнергоатом. 2017. URL: <http://www.rosenergoatom.ru/shareholders/raskrytie-informatsii/godovye-otchety/> (дата обращения: сентябрь 2017).

- Итоги финансовой деятельности / ТВЭЛ. 2017. URL: <http://www.tvcl.ru/wps/wcm/connect/tvel/tvelsite/finance/> (дата обращения: октябрь 2017).
- МАЯК. 2017. URL: http://www.po-mayak.ru/products_services/services/ (дата обращения: октябрь 2017).
- Михалевич А.А. Атомная энергетика: перспективы для Беларуси. Минск: Беларуская навука, 2011. 262 с.
- Мосеев П.А., Коробейников В.В., Мосеев А.Л. Оптимизация управления складскими запасами плутония в замкнутом топливном цикле с реакторами на тепловых и быстрых нейтронах // Известия высших учебных заведений. Ядерная энергетика. 2013. № 2. С. 123–132.
- Осецкая М.М., Алленых М.А. Разработка методики формирования топливной составляющей себестоимости электроэнергии АЭС // Вестник ИГЭУ. 2017. № 6. С. 67–76. DOI: 10.17588/2072-2672.2017.6.067-076.
- Публичная отчетность / Росатом. 2016. URL: <http://www.rosatom.ru/about/publichnaya-otchetnost/> (дата обращения: июль 2017).
- Соколова И.Д. Обеспеченность мировой ядерной энергетики природным ураном // Атомная техника за рубежом. 2015. № 3. С. 3–13.
- Финансовая отчетность / НАЭК «Энергоатом». 2017. URL: http://www.energoatom.kiev.ua/ru/actvts/financial_statements/ (дата обращения: февраль 2018).
- Annual Report and Accounts. 2016 / URENCO. 2017. URL: <http://urencocom/investors/group-reports/annual-report-and-accounts-2016> (дата обращения: октябрь 2017).
- Annual Report. 2016 / Cameco. 2017. URL: <https://www.cameco.com/invest/financial-information/annual-reports/2016> (дата обращения: октябрь 2017).
- Fukaya Y., Goto M. Sustainable and Safe Energy Supply with Seawater Uranium Fueled HTGR and Its Economy // Annals of Nuclear Energy. 2017. Vol. 99. Pp. 19–27. DOI: 10.1016/j.anucene.2016.09.029.
- Regulated Information. 2016 / AREVA. 2017. URL: <http://www.aveva.com/EN/finance-1176/regulated-financial-information-from-the-world-leader-in-the-nuclear-industry.html> (дата обращения: октябрь 2017).
- Tamada M., Seko N., Kasai N. Cost Estimation of Uranium Recovery from Seawater with System of Braid Type Adsorbent // Transactions of the Atomic Energy Society of Japan. 2006. Vol. 5. Issue 4. Pp. 358–363. DOI: 10.3327/taesj2002.5.358 (In Japanese).
- UxC Nuclear Fuel Price Indicators / Ux Consulting Company. 2017. URL: <https://www.uxc.com/p/prices/UxCPrices.aspx> (дата обращения: ноябрь 2017).
- Valle A., Furlan C. Diffusion of Nuclear Energy in Some Developing Countries // Technological Forecasting & Social Change. 2014. Vol. 81. Pp. 143–153. DOI: 10.1016/j.techfore.2013.04.019.
- World Energy Outlook 2016 / OECD. 2016. 684 p. DOI: 10.1787/weo-2016-en.
- World Nuclear Power Reactors & Uranium Requirements / World Nuclear Association. 2018. URL: <http://www.world-nuclear.org/info/Facts-and-Figures/World-Nuclear-Power-Reactors-and-Uranium-Requirements/> (дата обращения: февраль 2018).

CURRENT TRENDS IN THE NUCLEAR POWER GLOBAL MARKET

M.M. Osetskaya, V.F. Ukraintsev

Mariya Mikhailovna Osetskaya – Candidate of Economics, Project Leader of Resource and Personnel Center, Master of Nuclear Physics and Technology. Rosatom Technical Academy (RosatomTech), 21 Kurchatov str., Obninsk, Kaluga Region, Russia, 249031. E-mail: MMOsetskaya@rosatomtech.ru.
ORCID: 0000-0001-8087-2172

Vladimir Fedorovich Ukraintsev – Candidate of Physics and Mathematics, Senior Researcher in Nuclear Power Plant, Leading Specialist of the Institute of Special Systems. State Scientific Centre of the Russian Federation – Institute for Physics and Power Engineering n.a. A.I. Leypunsky (JSC ‘SSC RF – IPPE’), 1 Bondarenko square, Obninsk, Kaluga Region, Russia, 249033. E-mail: vukraintsev@ippe.ru.
ORCID: 0000-0001-6302-1317

Abstract. The review of the nuclear energy technologies market, namely the main processes of the initial and final stages of the nuclear fuel cycle (NTC) was shown. The authors reveal key players in the markets of natural uranium mining, conversion, enrichment, fabrication of nuclear fuel, direct disposal, and reprocessing as well as determine their market shares. The article shows the fundamental factors influencing the development trends of the global nuclear power market such as: units’ commissioning in China, India, the Republic of Korea and other countries, the restart of the Japanese nuclear power plants, growth of uranium supplies long-term contracting planned for the period up to 2025, volatility of world prices of the NFC initial and final stages, political, economic and environmental reasons for the nuclear power generation choice. The article presents the results of analyses of Russian and world prices on the NFC initial and final stages main processes’ allowing to draw a conclusion about the current competitiveness of Russian nuclear energy technologies.

Keywords: uranium, nuclear fuel cycle, conversion, enrichment, fabrication, spent nuclear fuel, price, competitiveness, nuclear power plants

JEL: D24, L23, L72, Q41, Q47

REFERENCES

- ARMZ Uranium Holding Co.* Available at: http://www.armz.ru/shareholders_and_investors/information_disclosure/ (accessed October 2017). (In Russian).
- Velikhov E.P., Gagarinskiy A.Yu., Subbotin S.A., Tsibulskiy V.F. Energy Resources of the Planet and Russia. *Energiya: Ekonomika, Tekhnika, Ekologiya = Energy*, 2008, no. 2, pp. 2–10. (In Russian).
- Annual Reports.* Rosenergoatom Concern, 2017. Available at: <http://www.rosenergoatom.ru/shareholders/raskrytie-informatsii/godovye-otchety/> (accessed September 2017). (In Russian).
- Results of the Financial Activities.* TVEL Fuel Company, 2017. Available at: <http://www.tvel.ru/wps/wcm/connect/tvel/tvelsite/finance/> (accessed October 2017). (In Russian).
- MAYAK Production Association.* Available at: URL: http://www.po-mayak.ru/products_services/services/ (accessed October 2017). (In Russian).
- Mikhalevich A.A. *Nuclear Energy: Prospects for Belarus*. Minsk, 2011, 262 p. (In Russian).

- Moseev P.A., Korobeinikov V.V., Moseev A.L. Optimization of Plutonium Stores for Closed Fuel Cycle with Thermal and Fast Nuclear Reactors. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy. Yadernaya Energetika* [News of Higher Educational Institutions. Nuclear Power], 2013, no. 2, pp. 123–132. (In Russian).
- Osetskaya M.M., Allenykh M.A. Development of the Technique for Fuel Component of Electricity Cost Produced by Nuclear Power Plants. *Vestnik IGEU = Vestnik IGEU*, 2017, no. 6, pp. 67–76. DOI: 10.17588/2072-2672.2017.6.067-076. (In Russian).
- Public Reporting*. Rosatom, 2016. Available at: <http://www.rosatom.ru/about/publichnaya-otchetnost/> (accessed July 2017). (In Russian).
- Sokolova I.D. Provision of World Nuclear Energy with Natural Uranium. *Atomnaya Tekhnika za Rubezhom* [Nuclear Engineering Abroad], 2015, no. 3, pp. 3–13. (In Russian).
- Financial Statements*. NNEGC 'Energoatom', 2017. Available at: http://www.energoatom.kiev.ua/ru/actvts/financial_statements/ (accessed February 2018). (In Russian).
- Annual Report and Accounts. 2016*. URENCO, 2017. Available at: <http://urencocom/investors/group-reports/annual-report-and-accounts-2016> (accessed October 2017).
- Annual Report. 2016*. Cameco, 2017. Available at: <https://www.cameco.com/invest/financial-information/annual-reports/2016> (accessed October 2017).
- Fukaya Y., Goto M. Sustainable and Safe Energy Supply with Seawater Uranium Fueled HTGR and Its Economy. *Annals of Nuclear Energy*, 2017, vol. 99, pp. 19–27. DOI: 10.1016/j.anucene.2016.09.029.
- Regulated Information. 2016*. AREVA, 2017. Available at: <http://www.areva.com/EN/finance-1176/regulated-financial-information-from-the-world-leader-in-the-nuclear-industry.html> (accessed October 2017).
- Tamada M., Seko N., Kasai N. Cost Estimation of Uranium Recovery from Seawater with System of Braid Type Adsorbent. *Transactions of the Atomic Energy Society of Japan*, 2006, vol. 5, issue 4, pp. 358–363. DOI: 10.3327/taesj2002.5.358 (In Japanese).
- UxC Nuclear Fuel Price Indicators*. Ux Consulting Company, 2017. Available at: <https://www.uxc.com/p/prices/UxCPrices.aspx> (accessed November 2017).
- Valle A., Furlan C. Diffusion of Nuclear Energy in Some Developing Countries. *Technological Forecasting & Social Change*, 2014, vol. 81, pp. 143–153. DOI: 10.1016/j.techfore.2013.04.019.
- World Energy Outlook 2016*. OECD, 2016, 684 p. DOI: 10.1787/weo-2016-en.
- World Nuclear Power Reactors & Uranium Requirements*. World Nuclear Association, 2018. Available at: <http://www.world-nuclear.org/info/Facts-and-Figures/World-Nuclear-Power-Reactors-and-Uranium-Requirements/> (accessed February 2018).