

Минимальное значение F_{so} , при котором невозможен провал жидкости через отверстия тарелок колонн DE01 – DE04, по нашим расчетам составляет примерно $8,7 \text{ Па}^{0,5}$ [1, 2]. При снижении производительности УРЖПППВ в два раза приведенные в таблице параметры работы тарелок колонн DE01 – DE05 также уменьшатся вдвое. При этом для ситчатых тарелок колонн DE01 – DE04 явно будет характерен неэффективный провальный гидродинамический режим.

Для стабильной и эффективной работы УРЖПППВ при сниженной вдвое производительности требуется модернизация колонн DE01 – DE05, затрагивающая изменения конструкции их тарелок с целью уменьшения их относительного свободного сечения. Результаты выполненных нами расчетов и анализа согласуются с информацией о диапазонах допустимых нагрузок по жидкости и газу, изложенной в стандарте [4].

Список использованных источников

1. Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. – М.: Альянс, 2005. – 753 с.
2. Рамм В. М. Абсорбция газов. – М.: Химия, 1976. – 656 с.
3. Людмирская Г. С., Барсукова Т. А., Богомольный А. М. Равновесие жидкость – пар. – Л.: Химия, 1987. – 336с.
4. ОСТ 26-01-125-81. Тарелки стальных колонных аппаратов. Типы, основные параметры и размеры.

УДК 621.039.7:339.9

Т.А. Кананчук

Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники
Минск, Республика Беларусь

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ МИРОВОГО РЫНКА ОТРАБОТАННОГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА

Аннотация. В статье анализируются основные тенденции и направления развития мирового рынка отработанного ядерного топлива; оцениваются перспективы развития рынка, анализируется вклад России, Франции, США, Китая в развитие отрасли по переработке отработанного ядерного топлива.

CURRENT TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF THE GLOBAL SPENT NUCLEAR FUEL MARKET

***Abstract.** The article analyzes the main trends and directions of development of the global spent nuclear fuel market; assesses the prospects for market development, analyzes the contribution of Russia, France, the USA, China to the development of the spent nuclear fuel reprocessing industry.*

В настоящее время ядерная энергия является практически единственным природным ресурсом, способным удовлетворить все возрастающие энергетические потребности человечества. Вводимые в эксплуатацию современные атомные станции позволяют сократить вредные выбросы в атмосферу и воздействие на окружающую среду, а повторное использование отработанного ядерного топлива (ОЯТ) подразумевает не только экологические, но и экономические выгоды. Атомную энергетику, согласно отчету МАГАТЭ за 2023 г., развивают 32 страны; абсолютное лидерство в данной сфере принадлежит США и России (в ядерной отрасли РФ насчитывается около 440 предприятий, на которых трудится примерно 250 тыс. человек, ведется строение шести новых энергоблоков) [1].



Рис.1 - Соотношение между 6 крупнейшими странами по количеству реакторов в 2022

Производство и потребление атомной энергии наращивают Россия, Китай, тогда как в Европе потребление, наоборот, сокращается.

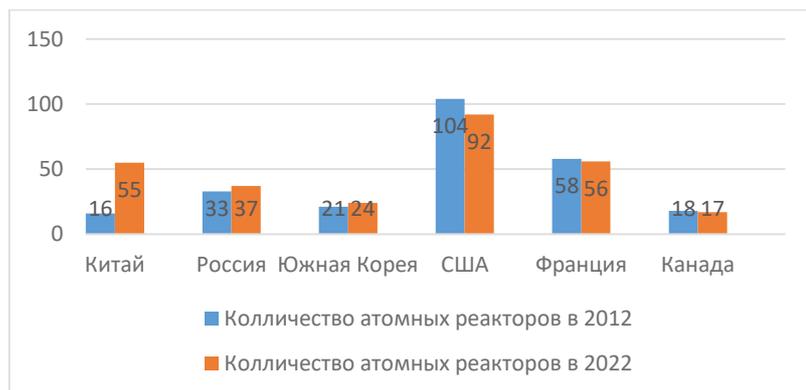


Рис.2 -Динамика изменения количества реакторов

Одним из важнейших трендов в мировой экономике современности является рециклинг - стремление наладить повторное использование и переработку отработанного ядерного топлива. Данное направление ядерной энергетики связано с проблемой его переработки и хранения. Экономически развитые страны, развивающие атомную отрасль, по-разному подходят к этому вопросу: отработанное ядерное топливо (ОЯТ) либо передают на хранение и последующее захоронение (Швеция, Финляндия, Канада, Италия, Швейцария, Нидерланды, США, Китай и др.) либо пытаются переработать с целью повторного использования (Россия, Франция, Япония, Индия, Англия) [1]. Канада и США на данный момент являются держателями приблизительно 50% накопленных мировых ОЯТ, и не располагают достаточными мощностями для их длительного хранения. Объем ОЯТ в десятках стран мира на сегодня - более 250 000 тонн, из которых переработано около 35%. Исследователи прогнозируют, что к 2040 г. накопленное количество ОЯТ увеличится в два раза [4].

Лидерство по переработке отработанного ядерного топлива сохраняется за Францией – в этой стране до 80% ядерного топлива является результатом собственной переработки, что позволяет сохранять первенство на рынке ядерной энергетики и обеспечить население необходимым количеством энергии. Россия также располагает достаточными мощностями для хранения ОЯТ: в стране созданы площадки для утилизации топлива, предприятия по их переработке, функционируют лаборатории, изучающие проблемы захоронения отработанного топлива [2].

В связи с накоплением продуктов переработки растет рынок отработанного ядерного топлива, поэтому его рециклинг является экономически целесообразным для стран, развивающих атомную энергетику. Переработка ОЯТ позволит существенно снизить риски хранения радиоактивных отходов, уменьшит их объемы, сложность обеспечения безопасности их хранения, минимизирует вред для

окружающей среды и даст возможность более полно использовать энергетический потенциал ядерного топлива.

Выделенные из ОЯТ уран и плутоний могут повторно использоваться в последующем производстве ядерного топлива; помимо этого в продуктах распада являются и другие элементы, применимые в современной промышленности: нептуний используется в медицинской отрасли для создания кардиостимуляторов, радиоактивные изотопы металлов платиновой группы (платина, палладий, родий, иридий и др.) – в химическом производстве. Данный тип переработки также позволяет получить ксенон, применяемый в медицине и для создания ионных двигателей космических аппаратов. Таким образом, переработка ОЯТ предполагает получение экономических выгод как для атомно-энергетической отрасли, так и для химической и медицинской промышленности.

Указанные преимущества переработки ОЯТ вызвали расширение рынка переработки ядерного топлива, который показывает растущую конкуренцию в развитии технологий переработки между западноевропейскими странами. До 2010 г. безусловным лидером переработки ОЯТ считалась Франция; с 2014-15 гг. на рынке появляются новые игроки: Бангладеш, Бразилия, Индия, Китай, Иран, ЮАР и др.) [2]. Значительно продвинулась в технологиях переработки ОЯТ за последнее десятилетие и Российская Федерация. Принятая в России федеральная целевая программа «Ядерные энерготехнологии нового поколения на период 2010-2015 гг.» для инновационного развития Госкорпорации Росатом, позволила ей укрепить позиции на атомном рынке, благодаря активной разработке и внедрению производства МОКС-топлива, получаемого из отработанного смешанного урано-плутониевого топлива. Согласно данным, полученным Всемирной ядерной ассоциацией (World Nuclear Association, WNA), в мире накоплено около 1,6 миллиона тонн обедненного урана; выработка на его основе МОКС-топлива позволит удовлетворить нужды мирового рынка потребления энергии на 326 лет.

Основными потребителями МОКС-топлива являются европейские страны и Япония. В 2022 г. госкорпорацией Росатом впервые были осуществлены международные поставки МОКС-топлива в Китай, для реактора CFR-600 (АЭС «Сяпу»). Реактор БН-800 на четвертом блоке Белоярской АЭС РФ также полностью перевели на МОКС-топливо, что для России является важным шагом в выстраивании и укреплении двухкомпонентной атомной энергетики, основанной на замыкании ядерного топливного цикла.

Атомная отрасль России активно развивается, не смотря на введенные санкции: Росатом сотрудничает со странами СНГ, странами БРИКС и Африкой. В октябре 2023 г., выступая на международном форуме «Российская энергетическая неделя», президент Российской Федерации В. В. Путин отметил, что Госкорпорация Росатом в настоящее время строит 22 энергоблока в других странах, что составляет около 80% мирового рынка строительства атомных станций. Таким образом, активность России в данной области показывает стремление страны занять лидирующие позиции на рынке переработки отработанного ядерного топлива в частности и рынке ядерной энергетики в целом. Российские специалисты в области атомной энергетики считают ее областью, имеющей стратегическое значение для развития страны.

Между РФ и Республикой Беларусь заключено соглашение об отправке отработанного ядерного топлива на переработку в Россию: первая партия ОЯТ будет сформирована и отправлена туда в 2032 г. На уровне правительства были изучены различные технико-экономические варианты обращения с ОЯТ, и в качестве приоритетного был выбран вариант переработки ОЯТ с БелАЭС в России с последующим возвратом в Беларусь. Для Беларуси более целесообразна переработка в России по экономическим причинам: создавать подобные собственные структуры достаточно сложно и экономически затратно, тогда как РФ располагает развитой структурой переработки ОЯТ и активно помогает в решении данных вопросов зарубежным партнерам, не имеющим соответствующего опыта и технологий.

Войти на рынок переработки ОЯТ стремится и Китай: быстрый рост и развитие атомной энергетики здесь также вызвал необходимость в принятии решения о переработке либо хранении отработанных материалов, поскольку их запасы в Китае к 2019 г. составляли примерно 5,67 тысяч тонн, а к концу 2020 г. возросли до 7,8 тысяч тонн. Основным местом хранения отработанного топлива там являются бассейны выдержки на атомных станциях, чего явно недостаточно при росте использования атомной энергии. В Китае строятся как хранилища отходов, так и заводы по их переработке; планируется введение в эксплуатацию завода по переработке производительностью до 800 тонн отходов в год совместно с Францией, о чем в 2018 г. было заключено соглашение. Хотя китайское правительство заинтересовано в развитии атомной энергетики, поскольку с ее помощью надеется преодолеть зависимость от других видов топлива, атомный потенциал

Китай расширяется скорее в другой нише – в строительстве атомных станций [3].

Таким образом, проведенное исследование современных тенденций мирового рынка переработки ядерных отходов показывает растущую роль Российской Федерации, стремящейся стать лидером в данной отрасли, что обусловлено постоянными разработками в данной сфере, начатыми еще в СССР. Развитие технологий переработки ОЯТ в настоящее время обусловлено и экономической целесообразностью, поскольку повторное использование отработанного ядерного топлива позволит не только снизить расходы на захоронение ОЯТ, но и уменьшит его объемы, снизит стоимость нового топлива и риски для окружающей среды.

Список использованных источников

1. Ефименко, Н. А. Конкурентные преимущества России на мировом рынке отработанного ядерного топлива / Н.А. Ефименко, И.А. Ухалина // Глобальная ядерная безопасность - 2014. - №4(13). - С. 96-98.
2. Осецкая, М.М., Текущие тенденции на мировом рынке ядерной энергетики / М. М.Осецкая, В.Ф. Украинцев// Пространственная экономика. - 2018. - № 1. - С. 154-169.
3. Китай - и вновь об ОЯТ [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.atominfo.ru/newsz05/a0500.htm>. – Дата доступа: 11.11.23.
4. Кудрявцев, Е. Г. Отработавшее ядерное топливо: факты и тенденции [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.atominfo.ru/newsz05/a0500.htm>. – Дата доступа: 11.11.23.

УДК 634

Э.И. Михневич¹, В.Е. Левкевич¹, Г.И. Касперов²

¹Белорусский национальный технический университет

²Белорусский государственный технологический университет
Минск, Беларусь

ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА КАРЬЕРАХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы, связанные с оценкой структуры карьеров, расположенных на территории Республики Беларусь.