

создать и внедрить конструкцию бесчехловой ТВС с жестким каркасом;
вовлечь регенерированный уран в топливный цикл;
завершить опытно-промышленную эксплуатацию альтернативного варианта конструкции ТВС и перейти при положительных результатах на 1-м блоке Калининской АЭС на 4-годовой топливный цикл;
для ВВЭР-440 —
модернизировать конструкцию ТВС;
перейти на промышленное внедрение 5-годового топливного цикла с уран-гадолиниевым топливом;
вовлечь регенерированный уран в топливный цикл;
для РБМК-1000, -1500 —
осуществить полный перевод на уран-эрбиевое топливо всех блоков;
провести дальнейшую оптимизацию топливного цикла с уран-эрбиевым топливом для повышения выгорания;
внедрить конструкцию с повышенной эксплуатационной надежностью (с центральным закреплением твэла).

СЫРЬЕВЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЯТЦ

Шаталов В.В. (ВНИИХТ)

По данным МАГАТЭ и Лондонского уранового института в 2000 г. мировое потребление урана оценивается на уровне 64 тыс.т/год, производство составляет только 40 тыс.т/год. При этом дефицит покрывается за счет складских запасов (до 25 тыс.т/год), производством смешанного уран-плутониевого топлива, использованием регенерированного урана. Два последних источника в обозримом будущем составят не более 5—7%. Значительный вклад вносит использование высокообогащенного урана до 10 тыс.т/год к 2010 г. При этом планируется ввод до 2010 г. новых значительных мощностей урановых рудников в Канаде, Австралии, Китае, России. Однако эта программа уже сейчас отстает от намеченных планов.

Таким образом, дефицит в производстве и потреблении природного урана при любом сценарии развития ядерной энергетики составляет 20—25 тыс.т/год и цены на уран будут определяться странами, обладающими большими складскими резервами. В этой связи начиная с 2010 г. планируется постепенное вовлечение в обработку месторождений со стоимостью добываемого урана более 52 дол./кг.

Потребление природного урана в России определяется мощностью АЭС, действующих на территории России, Украины и в Восточной Европе, и с учетом программы развития ядерной энергетики до 2010 г. составит 8,5 тыс.т/год в 2000 г. и медленно возрастет до 9,2 тыс.т/год к 2010 г. При этом объемы потребления в России и других государствах приблизительно равны.

Важными становятся задачи в области фундаментальных научных исследований по химии урана. К ним относятся:

исследования химико-минералогического состава и степени стабильности минералов;
направленный синтез стабильных минералов;
изучение реакционной и окислительно-восстановительной способностей систем вода—твердое, вода—органика—твердое;
развитие сольвометаллургии;
изучение миграционной способности радионуклидов в геохимических зонах;
комплексобразование и механизм ионного обмена;

механизмы растворения и комплексообразования урана и основных сопутствующих элементов в растворах кислот и щелочей;

синтез органических соединений с заданными физико-химическими свойствами (экстрагенты, сорбенты).

На базе этих исследований должны быть кардинально изменены действующие технологические схемы переработки, позволяющие повысить степень использования запасов месторождений, перерабатывать высокосортные концентраты, создавать малоотходное, экологически чистое производство. Эти принципы распространяются не только на производство урана, но и на все другие производства, необходимые атомной промышленности.

Направления научных исследований по технологии урана включают:

развитие методов физико-химического обогащения с получением концентратов разной степени упорности;

разработку новой технологии использования окислителей для выщелачивания;

создание технологии переработки руд в местах их залегания методом подземного выщелачивания;

развитие методов непрерывно-противоточной сорбции урана и других элементов в плотном слое ионита для переработки больших объемов растворов;

исследования по минимизации отходов, содержащих природные радионуклиды и др., создание малоотходного производства.

В 1998—1999 гг. выполнен большой объем работ по освоению двух опытных полигонов подземного выщелачивания, в том числе Далматовского и Хиагдинского месторождений. Выполнены буровые, восстановительные и монтажные работы эксплуатационных скважин, проведено закисление пластов и созданы установки по переработке продукционных растворов. В 1999—2000 гг. накоплен ценный опыт эксплуатации этих участков в зимних условиях, что позволит разработать реальные программы работ и выдать исходные данные для проектирования и строительства промышленных.

В предстоящие годы потребуются инициировать работы по использованию новой технологии выщелачивания, переработки растворов и получения химического концентрата, что улучшит технико-экономические показатели участков подземного выщелачивания.

В области переработки руд Стрельцовского рудного поля проведены работы по стабилизации основных технологических параметров гидрометаллургического завода, разработаны совместно ППГХО и ВНИПИПТ предложения по коренному изменению добычных работ с использованием радиометрических методов обогащения. Показано, что за счет изменения технологии переработки руд, рационального распределения потоков руды с различными способами переработки имеется реальная возможность стабилизации стоимости переработки, несмотря на снижение качества руд. Начаты работы по переходу на горно-химическую технологию с использованием кучного и блочного подземного выщелачивания. В 1999 г. получены первые 200 т урана по этой технологии.

Дальнейшее развитие методов подземного выщелачивания Приаргунского горно-химического комбината требует использования новых достижений в области физикохимии, создания нового поколения техники и оборудования, ионитов, оснащения ими производств. Только этот путь может обеспечить высокую конкурентоспособность производств, и результаты работы 1999 г. это ясно показывают.

Становление и развитие оборонной промышленности в СССР базировались не только на создании сырьевой базы урана, но и на развитии производства других специальных материалов, сырьевая база которых также была достаточна. Прежде всего это касается таких стратегических металлов, как литий и бериллий, а также конструкционных ядерно-чистых металлов — циркония, гафния, тантала, ниобия.

В настоящее время некоторые важные производства остановлены, прежде всего лития и бериллия. Кардинально меняется сырьевая база выпуска соединений для конструкционных материалов (циркония, ниобия) и ТВС (редкоземельных элементов и др.). Многие производства оказались в зависимости от поставок сырья из СНГ и Китая, что несовместимо с сохранением национальной безопасности и экономической независимости России.

До 1990 г. Минатом России был производителем многих исходных соединений (бериллия, лития, рения, скандия, тантала и др.) для производства конструкционных материалов не только для атомных электростанций, но и оборонных предприятий. На этой основе имелась связь с нефтеперерабатывающей (катализаторы крекинга нефти на основе редкоземельных металлов) и оптической промышленностью (полирующие порошки, люминофоры и т.д.). Это позволяло развивать конверсионные направления и удовлетворять потребности обороны страны в сверхпроводящих проводниках, инструменте, сильных магнитах, жаропрочных сплавах, оптоволоконных, твердотельных топливных элементах и пр. В настоящее время почти для всех этих направлений сырьевой базы в пределах России нет и ее необходимо создавать вновь.

Направления развития сырьевой базы можно классифицировать следующим образом: сырье и продукция из него, непосредственно используемые в ядерных энергетических установках различного назначения;

сырье и продукция, используемая в сопутствующих производствах атомной энергии; материалы повышенной чистоты или прочности, которые применяются в других отраслях (оборонной, электротехнической и др.), нуждающихся в высокотехнологических изделиях, в том числе в конверсионных программах;

сырье и продукция из него в целях загрузки мощностей для производства ликвидной продукции (золота, меди, платиноидов и др.) на основе передовой технологии.

Необходимо отметить, что объемы потребления ядерно-чистых соединений на предприятиях отрасли небольшие и только при решении всех подходов возможно создание высокорентабельного производства, выпускающего высокоценную, технологически совершенную продукцию.

Отрасль имела почти все производства для удовлетворения потребностей, и была разработана технология переработки комплексных руд, которая удовлетворяла потребности и всех связанных конверсионных программ. Особенно это видно при рассмотрении переработки циркония и редкоземельных элементов.

Цирконий. Циркониевый концентрат поступает с Украины, его переработка до конечных изделий осуществляется на Чепецком механическом заводе. К 2003 г. это циркониевое месторождение будет отработано, но в России нет замещающего производства. В этой связи необходимо развитие поисково-разведочных и технологических работ на базе российских месторождений "Катугинское" и россыпи Зауралья и имеющегося бадделитового концентрата "Ковдор", что позволило бы получить концентраты циркония нужного качества и приступить к их переработке на Чепецком механическом заводе в количестве до 4 тыс.т/год.

Наряду с надежным обеспечением сырьем циркониевого производства было бы целесообразно организовать производство высокочистого диоксида циркония для нужд волоконной оптики, технической керамики, источников тока и др. в количестве до 1000 т/год.

В настоящее время идет подготовка к коренной реконструкции химического передела циркония. Разрабатывается газохлоридная технология вскрытия и глубокого разделения циркония и гафния с последующим магнийтермическим получением циркония. Наряду с этим рассматривается возможность использования и экстракционной технологии разделения металлов, тем более что есть опыт использования современного оборудования на основе центрифуг. Главное в этой работе — не потерять качество, так как отечественные конструкционные материалы требуют более высоких показателей, чем зарубежные.

Редкоземельные металлы. Они находят все более широкое применение как в атомной промышленности (регулирующие стержни, сталь, компоненты топлива), так и в гражданской продукции. За счет освоения новой технологии при переработке урановых руд попутно получали большое количество редкоземельных концентратов (до 60% общего производства в СССР), из которых производили индивидуальные металлы и их соединения. Однако в настоящее время предприятия, находящиеся в Казахстане, на Украине, в России, остановлены.

В 1998—1999 гг. проведен большой объем работ по организации на Чепецком заводе переработки хлоридного плава от переработки лопарита с Соликамского завода. Разработана технология переработки запасов монацитового концентрата в Свердловской области, вы-

деления карбонатов редкоземельных металлов из производственных растворов при переработке апатита.

Освоение программы, в которой будут использованы новые виды технологии, позволит выпускать до 2000 т/год соединений редкоземельных металлов и не только обеспечить потребности России, но и осуществлять экспортные поставки, восстановить связи с другими отраслями.

Фтор и фторпроизводные. Для производства гексафторида урана созданы крупные производства (все в России) по выпуску плавиковой кислоты, газообразного фтористого водорода и элементарного фтора. Использование разработанной технологии позволяет производствам министерства стать крупнейшими производителями фторидов металлов, фторпроизводными различного профиля, создать новые производства солнечного кремния и др.

Технология и оборудование — отечественного производства. На их основе базируются производства фторидных соединений, в первую очередь гексафторида урана. Сырьем для этих производств являлся флюорит, поступающий с месторождений России, Средней Азии, Монголии. При этом были освоены уникальные схемы подготовки и переработки сырья, обеспечивающие высокое качество конечной продукции.

В настоящее время качество сырья резко ухудшилось, а также налицо очевидная тенденция к повышению цен на импортное сырье. В этой связи представляется необходимым создание отраслевой сырьевой базы и развитие производства на базе освобождающихся производственных площадей Забайкальского горно-обогатительного комбината из руд Эгитинского месторождения с доведением выпуска концентратов до 70—100 тыс.т/год.

Литий. До распада СССР Россия занимала 2 место в мире по добыче и производству соединений лития. Она производила 8—9 тыс.т/год в карбонатном эквиваленте.

Производитель литиевых соединений Красноярский химико-металлургический завод также добывал из сподуменовых концентратов цезий и галлий (металл) в количестве 200—250 кг/год, необходимых для электроники.

В связи с истощением руд Завитинского месторождения производство руд лития в России в 1997 г. прекратилось. В настоящее время Красноярский химико-металлургический завод по толлинговому соглашению с компанией “Минсал” (Чили) перерабатывает импортный технический карбонат лития и намерен производить гидроксид лития, безводный хлорид и металл.

Новосибирский завод химконцентратов заключил соглашение на переработку литиевых отходов амальгамообменного производства США (разделение изотопов лития) и намерен производить гидроксид, карбонат лития, безводный хлорид и металл. Таким образом, с точки зрения загрузки простаивающих мощностей проблема на сегодняшний день решена.

Вместе с тем для переработки новых типов отечественного сырья во ВНИИХТе разработана комплексная технологическая схема (гипсизвестковая) для извлечения лития из грейзеновых руд месторождения “Этыка”. Попутно с литием могут производиться сульфат натрия, сульфоалюминатный цемент, соли цезия и рубидия, в основном, цезий, на который имеется большой спрос за рубежом.

При комплексном использовании сырья обеспечивается возможность производства по стоимости, близкой к ценам 1999 г.: карбонат лития — 3,2 дол./кг, гидроксид — 4,92 дол./кг. Наряду с этим необходимо развивать работы по другим видам сырья, в первую очередь, по извлечению лития из гидроминеральных рассолов.

Бериллий. До распада СССР его производство на Усть-Каменогорском металлургическом заводе было самым крупным в мире и составляло 200 т в год. Изделия из нелегированного бериллия по качеству не уступали зарубежным и использовались в основном в атомной и аэрокосмической технике. Потребности атомной промышленности не превышали 20—25 т/год. Бериллиевые бронзы превосходили по качеству европейские и не имели пределов в сбыте. Самые лучшие в мире акустические системы работали на российских диафрагмах из бронзы. Не уступала по качеству американским бериллиевая металлооптика. В крупном масштабе выпускались конструкционные бериллиевые сплавы. Бериллиевая оксидная керамика широко использовалась для производства микросхем как в России, так и за рубежом.

На территории Казахстана остались резервные склады бериллиевых концентратов, ранее добытые в России, в том числе и уникальных концентратов Ермаковского месторождения, содержащих 11—14% BeO. Согласно данным ФЦП “Либтон” производство должно быть восстановлено до 60 т/год бериллия. Причем завод должен быть построен на промплощадке Забайкальского горно-обогатительного комбината, поскольку там имеется обогатительная фабрика по производству бериллиевых концентратов из руд Ермаковского месторождения. Однако решение о строительстве такого производства не принято, и поэтому требуется обеспечить поставки бериллиевой продукции из Казахстана.

Ниобий, тантал. Сырьевая база этих металлов связана с двумя месторождениями Забайкалья “Этыка”, “Катугинское”. Большой интерес представляет Катугинское комплексное месторождение (ниобий, тантал, цирконий). Его освоение будет зависеть от сроков строительства железной дороги.

Оба месторождения могут обеспечить длительную эксплуатацию. В рамках программы “Либтон” в 1999 г. начата опытно-промышленная эксплуатация обогатительной фабрики и проектирование цеха по комплексной переработке руд с получением 40—60 т/год ниобия и тантала, т.е. будет обеспечена вся потребность в них.

В 1999 г. проведена большая работа по отработке технологии получения 7%-ного концентрата с последующей переработкой гидрометаллургическим методом, что позволяет резко сократить расходы реагентов.

Другие металлы и материалы. Для оборонной и авиационной промышленности важными являются такие металлы, как скандий, рений, вольфрам и некоторые другие. Предприятия министерства имеют опыт работы в этой области, особенно при попутном извлечении из производственных растворов подземного выщелачивания урана.

В районах действия восточных предприятий министерства расположены крупные золотосодержащие территории. За последние годы, несмотря на общее снижение добычи золота, пущены новые золотодобывающие предприятия. С этой точки зрения целесообразно развернуть работы по подземному выщелачиванию золота и переработке техногенных продуктов. По предварительным оценкам для этих работ могут быть использованы десятки месторождений с запасом ~20—30 т. При этом в короткие сроки можно организовать производства с получением до 6 т/год золота с использованием технологии подземного и кучного выщелачивания (срок окупаемости 2—3 года). Рентабельность работ высокая, но требуется закупка лицензий на месторождения.

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Сафутин В.Д., Вербин Ю.В., Толстой В.В. (ВНИПИЭТ)

К настоящему времени разделение изотопов урана получило развитие в передовых развитых странах мира, таких, как США, Россия, Франция, Великобритания, Германия, Нидерланды, Япония, Китай.

Более 95% мощностей мировой разделительной промышленности базируется на двух молекулярных методах: газовой диффузии и газоцентрифужном. Имеются полупромышленные установки (Бразилия, ЮАР), работа которых основана на эффекте разделения изотопов в сверхзвуковой струе газа. В США проведены крупномасштабные разработки по лазерному разделению изотопов урана на парах металлического урана, доведенные до создания полупромышленного модуля большой мощности. Однако возникшие технические трудности привели к прекращению работ по этому методу.

Развитие разделительной промышленности в СССР и России. Разделительная промышленность СССР была создана в конце 40-х годов для производства оружейного урана с обо-