
УДК 621.316

В.И.Силаев, студент гр. Элб-18-2 (СКГМИ(ГТУ))
Научный руководитель Р.В. Ключев, д.т.н., заведующий кафедрой Электро-
снабжение промышленных предприятий” (СКГМИ(ГТУ))
г. Владикавказ

ПЕРЕРАБОТКА ОТХОДОВ ЯДЕРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

На протяжении XX века происходил безостановочный процесс поиска надёжного и эффективного источника энергии. Таким источником стала энергия атома. Мирный атом был впервые применён в СССР, а затем уже во всём Море. Так началась активная разработка, строительство и модернизация атомных электростанций, которая продолжается уже в XXI веке. Несмотря на бурное развитие ВИЭ, они не смогут восполнить целиком генерацию энергии при текущем энергопотреблении. А 2020 год показал полную неэффективность «зелёной энергетики» в эпоху глобального кризиса. Единственное окно возможности восстановления и дальнейшего развития всего человечества это ядерная энергетика. Первичные источники энергии постепенно исчерпываются. А ускоряющийся процесс роста потребления, приближает глобальный энергетический кризис, который лишь слегка замедлился из-за рецессии мировой экономики, нефтяного кризиса и пандемии[1]. Человечество уже в XX веке быстро столкнулось с проблемой – переработки и уничтожения ядерных отходов. Но называть отработавшее ядерное топливо «отходами» - ошибка! Из-за неграмотности в этой области создаются многочисленные эксцессы, которые негативно влияют на настроения в обществе. Просветительская деятельность государственной корпорации «Росатом» помогает преодолеть данную проблему. Прежде всего, благодаря открытости в области вторичного использования отработавшего ядерного топлива и переработки облучённого ядерного топлива. Отходы по определению нельзя использовать. Отходами необходимо считать именно РАО [2].

Радиоактивные отходы (РАО) – это радиоактивные элементы, которые не подлежат никакому дальнейшему использованию. Например к ним относят детали различных машин и механизмов задействованных в атомной отрасли, радиоактивно загрязненные выше предусмотренных норм и не подлежащие дезактивации согласно федеральному закону "Об обращении с радиоактивными отходами и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации" от 11.07.2011 N 190-ФЗ. Также элементы остающиеся после переработки радиоактивных руд и ядерного горючего как

в жидком, так и в твердом состоянии. РАО образуются при эксплуатации и выводе из эксплуатации судов с ядерными энергетическими установками, объектов ядерного топливного цикла, атомных электростанций и иными радиационными источниками [3]. Образуются также радиоактивные вещества в научных, производственных организациях и при их использовании в медицине. Стоит отметить, что они возникают при очищении территорий загрязненных радиоактивными веществами, а также при авариях на радиационных объектах. По стандартам разделяют несколько агрегатных состояний РАО. Их по российской и международной практике подразделяют на: твёрдые, жидкие и газообразные.

Обращаясь к международному опыту сбор и сортировку РАО необходимо осуществлять в местах их образования с учетом их особенностей связанных с радиационной, химической и физической характеристикой. При этом необходимо обращать внимание на системы классификации отходов и методов последующего обращения с ними [4]. Таким образом, происходит подбор наиболее эффективных методов, которые базируются на конкретных схемах переработки. В разных странах они отличаются набором применяемых реагентов, последовательностью отдельных технологических стадий и аппаратным оформлением. Наиболее распространённым методом переработки является PUREX [5]. По этому методу происходит восстановительный процесс обогащения плутония из совместного экстракта с ураном и продуктами деления. Затем происходит удаление оболочки топлива, которое растворяется в азотной кислоте. После органические растворители извлекают плутоний, который потом используется для производства ядерного оружия. На основе данного процесса сортировка отходов ядерной промышленности включает в себя их разделение на радиоактивные и нерадиоактивные составляющие, которые направлены на разделение отходов по различным категориям и группам для дальнейшей переработки по общепринятым технологиям или для подготовки к последующему хранению и захоронению.

Существует несколько способов переработки ядерных отходов. Например, процесс пиропереработки [6]. Он в отличие от PUREX, позволяет получить не компоненты для ядерного оружия (чистый плутоний), а смесь трансурановых элементов, которые можно эффективно использовать для производства энергии. Сама пиропереработка основана на методе гальванизации, т.е. использования электричества для сбора на проводящем металлическом электроде металла, извлеченного в виде ионов из химического раствора. Данный процесс происходит при сверхвысоких температурах. На данный момент существуют два подхода к данному способу переработки отработанного ядерного топлива — российский и американский. В России перерабатывается керамическое (оксидное) топливо из диоксида урана, а в

США — металлическое ядерное топливо. В частности, переработкой ядерных отходов занимаются не только Россия и США, а также Великобритания и Япония — их коммерческая перерабатывающая мощность составляет 600 и 800 т в год соответственно [7]. Ожидается, что в период с 2020 по 2050 годы в мире будет произведено около 650 тыс. т отработанного ядерного топлива, в том числе 85 тыс. т в Северной Америке и 75 тыс. т в Европе. Стоит отметить, что российская атомная отрасль является одной из передовых в мире по уровню научно-технических разработок в области проектирования реакторов, ядерного топлива, опыту эксплуатации атомных станций, квалификации персонала АЭС [8]. Предприятиями отрасли накоплен огромный опыт в решении масштабных задач, таких. Это позволяет России обладать наиболее совершенными в мире обогатительными технологиями и развивать технологии связанные с передовыми способами переработки ядерных отходов. Европейские страны активнее используют рециркулированное ядерное топливо. Процесс рециркуляции во Франции выглядит следующим образом: отработанный уран с электростанций отправляется на два перерабатывающих завода — UP-2 и UP-3, расположенных на мысе Ла Аг. Это жизненно необходимо для Франции, т.к. на её территории работает 58 атомных электростанций, которые позволяют генерировать 78% электроэнергии в стране. Большая часть генерируется за счет переработки. Метод заключается в том, что в деминерализованной воде находится отработавшее ядерное топливо, после чего отделяется из него необходимые для переработки элементы в оксидное топливо. Ядерные отходы, которые не подлежат переработке, помещаются в специальные резервуары из стекла цилиндрической формы. В будущем правительство планирует построить глубокое подземное хранилище для этих отходов до времени, когда и их можно будет использовать повторно.

Переработка радиоактивных отходов — это важнейшая, перспективная и бурно развивающаяся технология, которая включает в себя многочисленные технологические операции, разработки и методы, которые жизненно-необходимы для любой страны, которая эксплуатирует АЭС и имеет иные радиационные объекты. Данные мероприятия выполняются с целью изменения агрегатного состояния и физико-химических свойств радиоактивных отходов для дальнейшего перевода их в наиболее безопасные состояния, пригодные для использования, хранения или захоронения. Иногда на подготовительной стадии, когда позволяет физико-химические свойства, проводят фракционирование отходов, т. е. выделяют одну или несколько групп радионуклидов с целью последующей отдельной переработки, что при комплексном подходе повышает эффективность всего процесса. Радиохимическая переработка облученного ядерного топлива один из вариантов переработки [9]. Такая технология является относительно молодой. А все машины

и оборудование в этой развивающейся отрасли промышленности – зависят напрямую от развития ядерной энергетики. Перед технологией переработки ставятся все новые задачи, выдвигаемые ядерной энергетикой, ужесточающимися требованиями со стороны законодательства и высочайшими стандартами безопасности как Росатома, так и МАГАТЭ. В связи с этим в радиохимической промышленности, ранее занятой переработкой уранового топлива, которое было облучено в специальном реакторе, необходимо форсировано наращивать масштабы получения смешанных оксидов урана и плутония для последующего изготовления из них элементов для новейших типов реакторов. Переработка смешанного топлива после повторного выжигания в энергетических реакторах сейчас является наиболее перспективным направлением. В технологии переработки предложены, разработаны и используются новые способы, методы и подходы решения отдельных задач. На их основе разрабатываются новые типы оборудования. Практическое воплощение получили автоматизированные дистанционные системы контроля и управления технологическим процессом, которые значительно повышают эффективность переработки. В России накоплено около 20 тыс. т собственного отработанного ядерного топлива — при перерабатываемой коммерческой мощности в 400 т в год. При сохранении такого положения на протяжении всего XXI века, переработано всё это будет в течение 50 лет. Т.е. к началу 2070-2080 гг.

Единственным предприятием, на котором ведется полная переработка отработанных ядерных отходов, является РТ-1 на ПО «Маяк» — предприятии в закрытом городе Озёрск в Челябинской области [10]. На «Маяке» производят компоненты для ядерного оружия, изотопы, системы для хранения и регенерации отработанного ядерного топлива, его утилизации. Предприятие обслуживает Кольскую, Нововоронежскую и Белоярскую АЭС, а также перерабатывает ядерное топливо с атомных подводных лодок. Второе предприятие РТ-2, в горно-химическом комбинате в Красноярском крае, долгое время находилось в стадии замороженного строительства. На нём планировали организовать хранение отработанного ядерного топлива реакторов АЭС, переработку и производство нового ядерного топлива для реакторов на быстрых нейтронах. В 2018 году на РТ-2 провели тестовую переработку отработанного ядерного топлива с нескольких российских АЭС. Срок службы существующих тепловых реакторов в России (к этому типу принадлежат восемь из десяти стационарных АЭС) в ближайшем будущем завершится. Если их заменят быстрыми реакторами, отработанные ядерные отходы станет проще и безопаснее перерабатывать, потребность в добыче новой урановой руды, запасы которой ограничены, почти исчезнет. А благодаря рециркуляции топлива использовать существующие запасы можно будет еще очень долго.

Атомная энергетика сможет обеспечить долгосрочные потребности человечества в энергии при условии исчерпания ископаемых источников энергии. Для продолжения широкомасштабного устойчивого роста глобальной экономики и развития человечества, необходимы АЭС. А переработка отходов и завершение технологий полного закрытого ядерного цикла, дают широчайшие возможности для России. Именно Атомная отрасль способна выступить локомотивом для развития других отраслей.

Список литературы:

1. World Nuclear Association, World Nuclear Power Reactors and Uranium Requirements. <http://www.world-nuclear.org/info/Facts-and-Figures/World-NuclearPower-Reactors-and-Uranium-Requirements>.
2. O. Kryukov, Report by the Director for Public Policy on Radioactive Waste, Spent Nuclear Fuel and Nuclear Decommissioning, Public Council of Rosatom State Nuclear Energy Corporation (June 5, 2014). <http://www.atomic-energy.ru/news/2014/06/09/49463>.
3. R. Kh. Amirov, N. A. Vorona, A. V. Gavrikov, S. N. Zhabin, G. D. Lizyakin, V. P. Polistchok, I. S. Samoylov, V. P. Smirnov, R. A. Usmanov, and I. M. Yartsev, Tr. Mosk. Fiz. Tekh. Inst. 6, 136 (2014).
4. A.S. Aloy and M.V. Nikandrova, Radiochem. 57, 466 (2015).
5. S.V. Stefanovsky, Y.V. Myshkin, D.V. Adamovich, M.D. Beliy, Adv. Sci. Technol. 94, 121 (2014).
6. World Nuclear Association, Processing of Used Nuclear Fuel. <http://www.world-nuclear.org/info/Nuclear-Fuel-Cycle/Fuel-Recycling/Processing-ofUsed-Nuclear-Fuel>.
7. С.А. Дмитриев, А.С. Баринев, О.Г. Батюхнова, М.И. Ожован, Т.Д. Щербатова. Технологические основы системы управления радиоактивными отходами. Москва, ГУП МосНПО «Радон», 376 с. (2017).
8. M. Ojovan. Handbook of advanced radioactive waste conditioning technologies. Woodhead, Oxford, 512 p. (2016).
9. Брунненгребер А., Ди Нуччи М.Р., Лосада АМИ, Мез Л., Шреурс М.А. (ред.) (2015) Управление ядерными отходами: международное сравнение. Шпрингер, Берлин
10. Пахомова А.С., Кривовичев С.В., Юдинцев С.В., Стефановский С.В. (2016) Полисоматизм и структурная сложность: структурная модель муратаита-8С, сложной кристаллической матрицы для иммобилизации высокоактивных радиоактивных отходов. Eur J Miner 28: 205–214

Информация об авторах:

**III Всероссийская (с международным участием) молодежная
научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»**

231-6

12-14 ноября 2020 года

Силаев Вадим Иванович, студент группы ЭЛб-18-2, СКГМИ(ГТУ), 362021, Респ. Северная Осетия-Алания, г. Владикавказ, ул. Николаева, 44, kknig@bk.ru.

Клюев Роман Владимирович, д.т.н., заведующий кафедрой «Электроснабжение промышленных предприятий», СКГМИ(ГТУ), 362021, Респ. Северная Осетия-Алания, г. Владикавказ, ул. Николаева, 44, kluev-roman@rambler.ru.