

Качество работы отдельных объектов генерации формирует общую энергобезопасность региона, следовательно, расчёт индекса энергетической трилеммы для отдельных объектов энергосистемы позволяет эффективно повышать общие показатели за счёт внесения точных изменений на микроуровне.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Шилец Е.С, Энергетическая трилемма – основа устойчивого развития ТЭК. / Е.С. Шилец, В.А. Кравченко, Т.В. Лукьяненко // Вестник института экономических исследований 2017 №3. – 2017. – стр. 27-34
2. Велитченко, М. Н. Индекс энергетической трилеммы = World energy trilemma index / М. Н. Велитченко; науч. рук. Е. П. Корсак // Актуальные проблемы энергетики [Электронный ресурс]: материалы 77-й научно-технической конференции студентов и аспирантов, апрель 2021 г. / редкол.: Е. Г. Пономаренко [и др.]; сост. Т. Е. Жуковская. – Минск: БНТУ, 2021. – С. 191-193.

Научный руководитель: Е.П. Корсак, м.э.н., ст. преподаватель БНТУ.

### **ПЛАЗМЕННО-ПИРОЛИТЕЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ**

А.С. Горшков

Томский политехнический университет  
ИШЭ, НОЦ И.Н. Бутакова, группа 5061

Наступила новая веха в атомной отрасли, сменяются поколения энергетических реакторных установок (РУ), на смену отслужившим верой и правдой, давшим специалистам отрасли бесценные опыт и знания для дальнейшей деятельности установкам, приходят новые и перспективные установки, как «консервативных» типов, так и «прогрессивных». Если учитывать только РБМК, то к 2035 году будет выведено из эксплуатации 17 блоков с РУ такого типа [1]. Все установки независимо от их типа и возраста объединяет в общих чертах одинаковый жизненный цикл.

Если оценивать средние величины, то при демонтаже одной атомной станции (АС) количество отходов составляет 100 000 тонн (бетон), 5000 тонн (сталь) и 500 тонн других (несгораемых) радиоактивных отходов (РАО). Причем более 90% объема составляют низкоактивные отходы [2].

На состоянии 2012 г. в России [3] на территории хранилищ РАО находится около 541 млн. м<sup>3</sup> РАО, причем 406 млн. м<sup>3</sup> из них находится на территории ФГУП «ПО МАЯК» и лишь 0,248 млн. м<sup>3</sup> на территории хранилищ расположенных при АЭС. Разумеется, в деталях эта статистика переменялась, это связано с тем, что в РФ по договоренностям с нашими западными коллегами ввозятся ОЯТ и РАО [4], а также с тем, что наметилась тенденция распространения пристанционных хранилищ РАО. Этим хотелось подчеркнуть, что проблема обращения с

РАО во время вывода из эксплуатации лишь обостряется, но и в любое другое время является серьезным вызовом, стоящим перед всеми странами-эксплуататорами.

Перед окончательным захоронением РАО должны пройти длительный путь, одним из этих этапов которого является кондиционирование. Если выбрать для рассмотрения из широкого спектра способов обращения с РАО термические методы, то можно выделить сжигание и плазменную обработку.

Плазма из-за высокой температуры (до 10 000 °С) является перспективным направлением для обращения с РАО. В тоже время, использование плазменных установок позволяет сжигать отходы без дополнительной сортировки и фрагментации, что значительно упрощает технологический процесс. Тугоплавкие неорганические отходы плавятся в стеклообразный шлак, концентрирующий в себе большую часть радиоизотопов. Этот шлаковый компаунд чрезвычайно устойчив к агрессивным воздействиям. Органические же отходы переходят в синтез-газ, который дожигается в камере дожигания.

Среди преимуществ термической переработки перед прочими методами обращения с РАО стоит отметить: очень высокий коэффициент уменьшения объема (до 100), конечный продукт на выходе из установок – стабилен, химически инертен и подходит для длительного хранения и утилизации. Кроме того, накоплен опыт по эксплуатации систем отводящих газов, которые не отличаются для установок термической конверсии, установки обладают высокой производительностью, есть возможность организовать непрерывный и длительный процесс.

В тоже время необходимо понимать, что установки данных типов требуют больших капитальных затрат и являются рентабельными только в случае полного и постоянного использования своего ресурса на протяжении всего срока эксплуатации. Также существуют некоторые юридические трудности для строительства и эксплуатации установок сжигания в некоторых странах, связанные с особенностями местного законодательства в области радиоактивных материалов и экологии. Так как установки работают при высоких температурах, необходим серьезный подход к обеспечению безопасной и надежной работы, с учетом различных режимов работы по характеристикам отходов.

Если говорить обособленно о сжигании, как о способе обработки РАО, то нельзя упускать того факта, что это наиболее часто применяемый метод, который характеризуется обширным и длительным эксплуатационным опытом в обращении с отходами. Кроме того, сжигание подходит для широкого спектра отходов, в том числе сухих твердых радиоактивных отходов (ТРО), жидких радиоактивных отходов (ЖРО) и смол. Но при этом для сжигания зачастую требуется сортировка, разделение и измельчение, также важно отсутствие металлических предметов, которые могут вызвать механические повреждения оборудования. Требуются надежные и проверенные системы удаления золы, которые не требуют ручного вмешательства, так как в этом случае не удастся избежать воздействия радиоактивного загрязнения на персонал.

Плазменно-пиролитические установки обладают обширным рядом преимуществ. Данный способ обработки позволяет работать с РАО «как есть», то есть не требуются вложения для сортировки и очистки негорючих отходов.

Благодаря этому фактору минимизируются риски, связанные с облучением персонала. На выходе данных установок получается прочный продукт, аналогичный процессу остекловывания. Сам процесс безвреден для окружающей среды, так как источником тепла является плазма, а не газ или топливо, и, следовательно, снижается образование дымовых газов и  $\text{CO}_2$ . Но если необходимо получить однородный шлак, то для организации технологического процесса требуются дополнительные затраты. На данный момент опыт промышленной эксплуатации установок данного типа ограничен, первая установка для обращения с низкоактивными отходами (НАО) была введена в эксплуатацию в 2004 году, однако другие плазменные установки уже эксплуатируются или планируются, что ведет к накоплению опыта работы по данному направлению. [5]

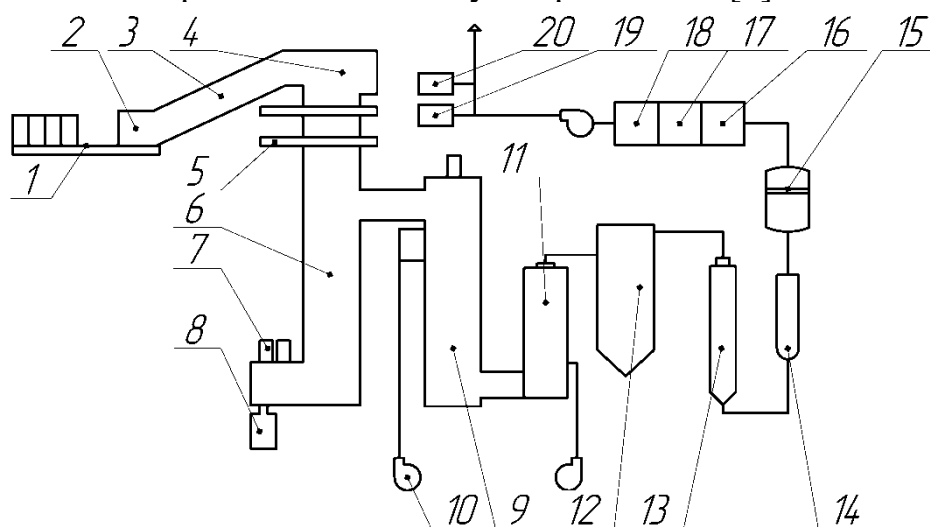


Рис. 1. Принципиальная схема установки плазменно-пиролитической переработки: 1 – склад РАО; 2 – приемный бункер; 3 – герметичный конвейер; 4 – загрузочный бункер; 5 – шибер; 6 – печь шахтная; 7 – плазматрон; 8 – прием компаунда; 9 – камера дожигания; 10 – вентилятор дутьевой; 11 – холодильник; 12 – фильтр рукавный; 13 – скруббер; 14 – холодильник; 15 – газовый сепаратор; 16 – фильтр предварительной очистки; 17 – аэрозольный фильтр грубой очистки; 18 – аэрозольный фильтр тонкой очистки; 19 – потоковый газовый анализ; 20 – радиационный контроль

На качественный и количественный состав компаунда и отходящих газов влияет множество факторов [6]. В первую очередь, это состав перерабатываемых отходов, их размер, температурный режим и газовый агент. Таким образом, необходимо дополнительное изучение влияния всех вышеуказанных факторов на плазменную переработку НАО. То есть необходимо выяснить, как влияет температура, инертность среды, размер фракции бетонных отходов, графита, стали или других отходов на уменьшение объема (являющимся важным показателем качества обращения с РАО), уровень выброса газов, устойчивость структуры компаунда и т.д.

## ЛИТЕРАТУРА:

1. Вознесенская Д.Д. Сравнительная экономическая оценка комплекса мероприятий по обращению с радиационно-загрязненным графитом при выводе АЭС из эксплуатации // Неделя науки СПбПУ, 2019 г. – 762 с.
2. Былкин Б.К., Енговатов И.А. Вывод из эксплуатации реакторных установок / Б.К. Былкин, И.А. Енговатов. – М-во образования и науки Росс. Федерации, Моск. гос. строит. ун-т. Москва: МГСУ, 2014. 228 с.
3. Проблемы ядерного наследия и пути их решения. — Под общей редакцией Е.В. Евстратова, А.М. Агапова, Н.П. Лаверова, Л.А. Большова, И.И. Линге. — 2012 г. — 356 с. — Т1.
4. "Росатом" объяснил важность для экологии проекта по урану с Францией (электронный ресурс) // РИА Новости 13.10.2021. URL: <https://ria.ru/20211013/rosatom-1754417339.html> [Дата обращения 15.11.2021]
5. Handbook of advanced radioactive waste conditioning technologies ed Michael I. Ojovan (Sawston, Cambridge: Woodhead Publishing), 2010 г. – 488 с., ил.
6. Hee-Chul Yang, Joon-Hyung Kim. Characteristics of dioxins and metals emission from radwaste plasma arc melter system. Chemosphere 57 (2004) 421 – 428.

Научный руководитель: В.Е. Губин, к.т.н., доцент, НОЦ И.Н. Бутакова ИШЭ ТПУ.

## СИНТЕЗ КАРБИДА ТИТАНА ИЗ ДРЕВЕСНОГО УГЛЯ ЭЛЕКТРОДУГОВЫМ МЕТОДОМ

А.А. Гумовская<sup>1</sup>, А.Я. Пак<sup>2</sup>  
Томский политехнический университет<sup>1,2</sup>  
ИШЭ, НОЦ И.Н. Бутакова, группа 5БМ11<sup>1</sup>  
ИШЭ, НИЦ «Экоэнергетика 4.0»<sup>2</sup>

Ультратугоплавкие материалы являются основой сырьевой базы акосмической отрасли и ряда технологий металлургической отрасли [1]. В частности, карбид титана (TiC) известен благодаря своим ценным свойствам: высокая температура плавления, относительно низкая плотность, высокая твердость, хорошая износостойкость [2]. В последние несколько лет также рассматриваются возможности использования карбидов титана в накопителях электрической энергии сверхвысокой емкости. Обычно для синтеза карбида титана используется технически чистый титан или оксид титана, а также углерод различного происхождения. В качестве источника углерода может быть использован древесный уголь. Древесный уголь сочетает в себе высокую прочность, жёсткость и вязкость при низкой плотности, благодаря его уникальной микроструктуре [3]. Кроме того, древесина, как и любая биомасса, является потенциально возобновляемым