

ПЛАЗМЕННО-ПИРОЛИТИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ТВЕРДЫХ РАО



PLASMA-PYROLYTIC TREATMENT OF SOLID RADWASTE



М.А. ПОЛКАНОВ (ГУП МосНПО «Радон»)
M.A. POLKANOV (Radon Moscow)

Внедрение на АЭС процесса плазменной переработки твердых РАО представляет технологически и экономически выгодную альтернативу созданию комплексов многостадийного обращения с ТРО на основе технологий сжигания, плавления, цементирования, прессования и суперкомпактирования, а также исключает необходимость повторного кондиционирования продуктов переработки через 30-50 лет.

НЕДОСТАТКИ «ХОЛОДНЫХ» И «ГОРЯЧИХ» МЕТОДОВ ПЕРЕРАБОТКИ ТРО

Основные современные технологии обработки твердых радиоактивных отходов атомных электростанций включают процессы предварительной подготовки ТРО к переработке, такие как извлечение отходов из хранилищ, их фрагментирование и сортировку, а также методы термической переработки, в основном, сжигания горючих твердых и жидких РАО с последующим цементированием зольного остатка.

Кондиционирование негорючих ТРО проводится методами прессования и суперкомпактирования; упаковки с компактированными и цементированными отходами размещаются на длительное хранение в невозвратных защитных контейнерах, в них же размещается и часть отходов, не подвергшихся переработке. Все перечисленные «холодные» методы кондиционирования характеризуются относительно невысокими коэффициентами сокращения объема отходов, поэтому требуют больших площадей и объемов хранилищ для размещения кондиционированных форм РАО. Такие технологии, не предусматривающие существенных изменений и стабилизации физико-химических свойств отходов, по своей сути являются решениями, отложенными на 30-50 лет.

Термические методы обеспечивают глубокую переработку отходов и разрушение органических и биологических компонентов, а также повышение качества продуктов, предназначенных для длительного хранения или захоронения. Наиболее распространенными для обращения с горючими радиоактивными отходами являются технологии сжигания, однако их главным недостатком является получение легко выщелачиваемого и пылящего продукта – радиоактивной золы, которая требует дальнейшей переработки и кондиционирования.

На сжигание направляются тщательно сортированные отходы, не содержащие негорючие компоненты, которые могут вывести из строя узлы печи сжигания и выгрузки зольного

Implementation of the plasma incineration for solid radwaste treatment at nuclear power plants may provide a technologically and economically viable alternative to the multi-stage management of solid radwaste based on incineration, melting, cementation, compression and super-compaction technologies, and preclude re-conditioning of the processing products some 30-50 years later.

DISADVANTAGES OF THE "COLD" AND "HOT" METHODS OF SOLID RADWASTE TREATMENT

The main existing technologies used for treatment of solid radioactive waste generated by nuclear stations include processes for preliminary conditioning of solid radwaste (retrieval of the waste from storage facilities, its fragmentation and segregation), as well as thermal treatment methods – mainly incineration of combustible solid and liquid radwaste with subsequent cementation of ash residue.

Conditioning of non-combustible solid radwaste is performed by compression and super-compaction, and packages containing compacted and cemented waste are placed for long-term storage in non-returnable shielded casks, in which non-reprocessed waste is also placed in. All these "cold" conditioning methods provide relatively low waste volume reduction factors, thus requiring large areas and capacities of storage facilities to accommodate conditioned waste. Such technologies, which do not provide any significant changes in physicochemical waste properties and its stabilisation, are essentially temporary measures that delay the actual solution by some 30-50 years.

Thermal methods do ensure deep processing of the waste and disintegration of the organic and biological components, as well as improve waste quality for long-term storage or disposal. The most common technology employed for treatment of combustible radioactive waste is incineration; however its key drawback is the product it generates – an easily leached and dust-forming radioactive ash, which requires further processing and conditioning.

Incineration plants only accept thoroughly segregated waste, without inclusion of any non-combustible components, which may damage incineration furnaces and ash residue discharge equipment. Therefore, much of mixed waste, often wet and containing small metallic parts, pieces of cabling, construction debris, thermal insulation and dirt along with combustible com-

остатка. Таким образом, значительная часть смешанных отходов, зачастую влажных, содержащих наряду с горючими компонентами мелкие металлические детали, куски кабеля, строительный мусор, теплоизоляцию, комки земли, направляется на цементирование, прессование или суперкомпактирование. Все эти кондиционированные формы в результате постепенного разложения и гниения органических материалов теряют свои прочностные качества: нарушается герметичность упаковки, в объеме отходов образуются пустоты, возможны выходы наружу радиоактивных конденсатов.

УСТАНОВКА «ПЛУТОН»

Плазменная технология позволяет эффективно перерабатывать смешанные отходы сложного состава с получением продукта, который не содержит органические материалы и не теряет свою химическую стойкость и механическую прочность в течение десятков и сотен лет.

Одной из наиболее эффективных разработок специалистов ГУП МосНПО «Радон» является технология плазменного сжигания ТРО низкого и среднего уровней активности. На предприятии создана и эксплуатируется установка «Плутон», обеспечивающая плазменную переработку отходов сложной морфологии с получением кондиционированного продукта в одну стадию и высоким коэффициентом сокращения объемов РАО. Стеклоподобный конечный продукт, плавящийся шлак, пригоден для захоронения или длительного хранения на полигоне кондиционированных радиоактивных отходов.

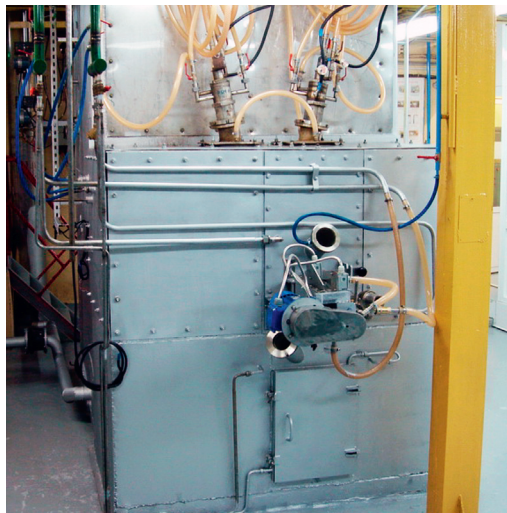
Устройство и вид шахтной печи плазменной установки «Плутон» приведены на рисунке 1.

Органическая часть радиоактивных отходов подвергается пиролизу в печи шахтного типа с производительностью 200-250 кг/час в условиях недостатка кислорода, в то время как процесс плавления шлака проводится в окислительной атмосфере, что способствует полному уничтожению органических компонентов шлака и получению более однородного продукта.

Нагрев плавителя шахтной печи до температур 1500-1800°C возможен благодаря использованию дуговых плазматронов постоянного тока, разработанных на ГУП МосНПО «Радон». На рисунке 2 представлены разрез и плазменный факел работающего плазматрона.

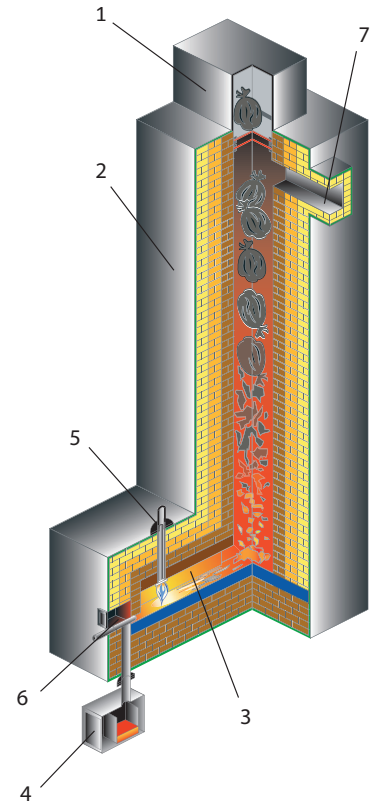
Плавящийся шлак (рис. 3) представляет собой базальтоподобный монолит, где содержание оксида алюминия достигает 28% мас., оксида кремния – до 56% мас.; оксида натрия – от 2,5% мас. до 11% мас. В матрице шлака надежно фиксируются радиоактивные изотопы, а также оксиды тяжелых металлов, таких как свинец, никель, медь, цинк и т.д.

Плотность шлака составляет 2,5-3,5 г/см³. Он является чрезвычайно устойчивым к химическому воздействию материалом (см. таблицу). Скорость выщелачивания из шлака в воду натрия, одного из самых «подвижных» элементов, в среднем на порядок ниже подобного показателя для боро-



- | | |
|-----------------------|---------------------------|
| 1 – узел загрузки | 1 – loading unit |
| 2 – шахта | 2 – shaft |
| 3 – под | 3 – smelter |
| 4 – бокс приема шлака | 4 – slag receiving unit |
| 5 – плазматрон | 5 – plasmatron |
| 6 – узел слива шлака | 6 – slag discharge unit |
| 7 – выход пирогаза | 7 – pyrolysis gas exhaust |

Рис. 1. Устройство и вид шахтной печи установки «Плутон» / Fig. 1. Design and appearance of the shaft furnace at "Pluton" facility



ponents, has to be sent to cementation, compression or supercompaction. All these conditioned forms, as a consequence of continuous rotting and decomposition of the organic materials, tend to lose their strength, resulting in package breach, formation of voids in the waste, with potential releases of radioactive condensates.

"PLUTON" TECHNOLOGY

The plasma technology is an effective means for processing mixed waste of complex compositions with the resulting product that does not contain any organic materials, does not lose its chemical stability and mechanical strength over tens and hundreds of years.

One of the most efficient recent developments by Radon Moscow is the plasma incineration technology for low and intermediate-level solid radwaste. Radon has built and is operating the so-called "Pluton" facility, which performs plasma processing of complex waste with the resulting conditioned product made in single stage and with a high waste volume reduction factor. The glass-like final product, molten slag, is suitable for disposal or long-term storage at a conditioned radioactive waste repository.

Design and appearance of shaft furnace of the "Pluton" plasma facility are shown in Figure 1.

The organic part of radioactive waste is subjected to pyrolysis in a shaft furnace with 200-250 kg/hour capacity under of oxygen-deficient conditions, while the melting of slag is done in an oxidising environment, facilitating complete destruction of any organic components present in the slag and making a more homogeneous product.

The shaft furnace smelter can be heated to temperatures of 1,500-1,800°C thanks to the application of direct-current arc plasmatoms, developed by Radon. Figure 2 shows a cross-section and plasma flame of an operating plasmatron.

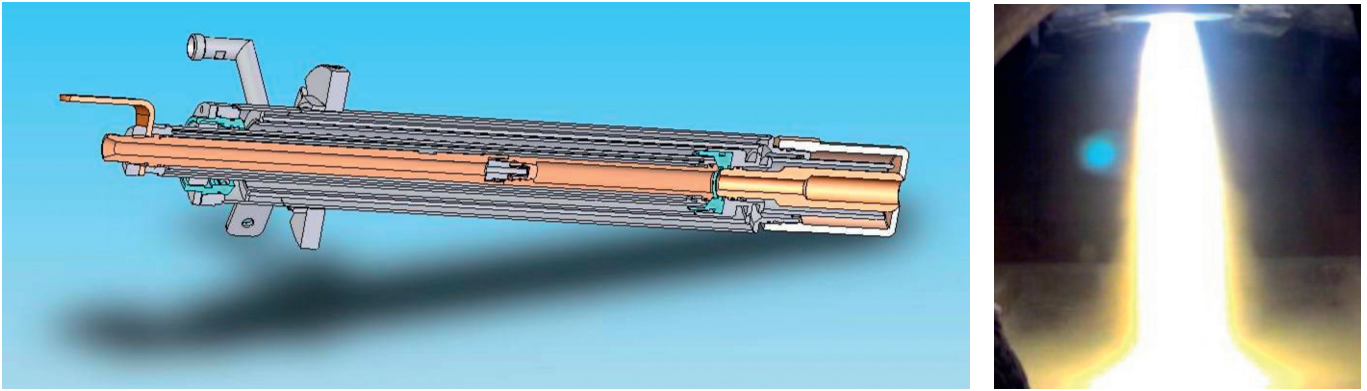


Рис. 2. Плазменный источник нагрева – плазматрон / Fig. 2. Plasmatron – a plasma heat source

силикатных стекол и на два-три порядка ниже, чем у цементных матриц. Скорость выщелачивания большинства других элементов, в том числе тяжелых металлов, еще ниже, поэтому подобный шлаковый компаунд можно рассматривать как одно из самых совершенных средств консервации радиоактивных элементов и неорганических токсикантов.

Приемные контейнеры со шлаковым компаундом загружаются в невозвратные защитно-транспортные контейнеры и размещаются на полигоне долговременного хранения кондиционированных форм РАО в Научно-производственном комплексе ГУП МосНПО «Радон».

ГУП МосНПО «Радон» получил разрешение Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору РФ на переработку твердых радиоактивных отходов низкого и среднего уровней активности плазменным методом в 2007 году, и с 2008 года на установке «Плутон» ведется плановая переработка ТРО.

На переработку принимаются твердые радиоактивные отходы смешанного типа, близкие по морфологическому составу ТРО атомных электростанций. Наряду с горючими материалами (бумагой, древесиной, текстилем, кожей, полимерами) перерабатываемые отходы включают до 30-40% негорючих компонентов (строительного мусора, стекла, грунта, ила, металлического скрапа, теплоизоляционных материалов и т.д.). Суммарная влажность отходов может достигать 40% при влажности содержимого отдельных упаковок до 90%. Удельная активность ТРО, принимаемых на термическую переработку, ограничивается, согласно условиям действия лицензии, значениями $2,2 \cdot 10^5$ Бк/кг по α -излучающим радионуклидам и $3,7 \cdot 10^6$ Бк/кг по β -излучающим радионуклидам.

В 2009-2011 годах плазменным методом в шахтной печи установки «Плутон» были переработаны такие «неудобные» для других высокотемпературных технологий отходы, как активированный уголь, неорганические сорбенты и донные отложения (илы), выгруженные из аппаратов очистки ЖРО и сборников стоков системы спецканализации. Эти виды отходов характеризуются высоким содержанием влаги (до 90%), в сухом остатке илов доля органических веществ достигала 50%.

Плазменным методом успешно перерабатываются ранее подпрессованные смешанные отходы после извлечения из тары и переупаковки в крафт-мешки, а также отходы, подвергшиеся суперкомпактированию в металлической упаковке.

Проблема переработки перечисленных выше видов радиоактивных отходов весьма актуальна для атомных электростанций. Плазменная технология способна в значительной степени снизить ее остроту.

Molten slag (fig. 3) is a basalt-like monolithic material with aluminium oxide content up to 28%, silicon oxide up to 56%; sodium oxide from 2.5% to 11% (all - by percentage of weight). The slag matrix securely fixes radioactive isotopes, as well as oxides of heavy metal, such as lead, nickel, copper, zinc, etc.

The slag's density is 2.5-3.5 g/cm³. It is extremely resistant to chemical impacts (see table). The slag's leaching rate of sodium, one of the most "mobile" elements, into water is on average by an order of magnitude lower than of borosilicate glass and two or three orders of magnitude lower than of cement matrices. The leaching rate for the majority of other elements, including heavy metals, is even lower, making this slag compound probably one of the best ways for conservation of radioactive elements and non-organic toxicants.

The receiving containers loaded with the slag compound are placed into non-returnable shielded transport casks and shipped to the long-term repository for conditioned waste at Radon.

Radon has obtained permission from the Russian Federal Service for Ecological, Technological and Nuclear Regulation to perform processing of low and intermediate level solid radioactive waste using the plasma method in 2007, and has since 2008 been performing regular solid radwaste processing activities using the "Pluton" facility.

The solid radioactive waste accepted for processing includes mixed types that are close in their morphologic composition to the solid waste produced by nuclear power plants. Along with combustible materials (paper, wood, textiles, leather, polymers) processable waste includes up to 30-40% of non-combustible components (construction debris, glass, dirt, silt, scrap metal, thermal insulation materials, etc.). The total dampness of the waste may be as high as 40% with dampness of the contents of individual packages up to 90%. The licence limits specific radioactivity levels of solid radwaste accepted for thermal processing to $2.2 \cdot 10^5$ Bq/kg for α -emitting radionuclides and $3.7 \cdot 10^6$ Bq/kg for β -emitting radionuclides.

During 2009-2011, the "Pluton" facility processed "inconvenient" for other high-temperature technology activated charcoal, non-organic sorbents and bottom sediments (silts) removed from liquid radwaste treatment facilities and drain sewer collectors. These waste types have a high moisture content (up to 90%) while the share of organic substances could be as high as 50% in the dry silt residue.

The plasma method has successfully been used on pre-compressed mixed waste after removal from their packages and placement into Kraft bags, as well as pre-super-compacted waste in metallic packages.



Рис. 3. Шлак в приемных контейнерах / Fig. 3. Slag in receiving containers

ПРЕИМУЩЕСТВА ПЛАЗМЕННОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Практика ГУП МосНПО «Радон» показывает, что удельные капитальные затраты на создание подобной установки и эксплуатационные расходы на переработку РАО плазменным методом (на единицу массы перерабатываемых отходов) за счет высокой производительности плазменной установки не превышают затрат на сжигание. При этом установка способна перерабатывать одновременно отходы, поступающие на сжигание, плавление, прессование и суперкомпактирование. Плазменная переработка ТРО исключает также стадию цементирования продукта сжигания РАО – зольного остатка.

Плазменная технология обеспечивает высокие коэффициенты сокращения объема смешанных отходов. После размещения продукта в невозвратных защитных контейнерах в хранилищах кондиционированных форм ТРО на долговременное хранение соответствующие коэффициенты варьируются в диапазоне от 25 до 40, тогда как весь комплекс операций по сжиганию, цементированию, прессованию и суперкомпактированию отходов смешанной морфологии дает коэффициенты сокращения объема 4-8. Учитывая конечный объем продуктов переработки и связанные с этим капитальные и эксплуатационные затраты на хранение кондиционированных отходов, плазменная переработка твердых РАО становится в 1,5-2,5 раза выгоднее многостадийной переработки ТРО с использованием процессов сжигания, цементирования и компактирования отходов.

Широкий спектр отходов, принимаемых на переработку, и одностадийный процесс получения продукта, пригодного для длительного хранения, определяют преимущества плазменного метода по сравнению со сжиганием.

Применение плазменно-пиролитического метода переработки радиоактивных отходов в шахтной печи наиболее экономически оправдано на атомных электростанциях, где себестоимость электроэнергии невысока. Вдобавок ее внедрение повышает не только экономическую эффективность, но и экологическую безопасность обращения с радиоактивными отходами различной морфологии.

Термическая переработка РАО сопровождается образованием дымовых газов, содержащих, наряду с радиоактивными аэрозолями, неорганические вредные химические вещества и органические токсиканты. Как показывает практика эксплуатации, установка плазменной переработки ТРО «Плутон» оказывает меньшее воздействие на окружающую среду по сравнению с установкой сжигания отходов в камерной печи.

The problem associated with processing of these radioactive waste types is very acute at nuclear plants. The plasma technology can provide a considerable relief to this problem.

ADVANTAGES OF PLASMA TREATMENT

Radon's practical experience demonstrates that due to the plasma plant's high production capacity, specific capital costs to build a similar plant and operational costs to process radwaste (per unit of mass of waste to be processed) would not exceed those for incineration. At the same time, the plant is capable of simultaneously processing waste that would otherwise be treated by incineration, melting, compression and super-compaction. Plasma processing of solid radwaste also excludes a stage for cementation of the radwaste incineration final product – ash residue.

Plasma treatment ensures high values of volume reduction factors for mixed waste. After placement of the final product in non-returnable shielded casks in solid radwaste repositories for long-term storage, the corresponding factors vary within 25 to 40, whereas the entire set of operations to perform incineration, cementation, compression and super-compaction of mixed waste provides volume reduction factors of only 4 to 8. Taking into account the final volumes of processing product and associated capital and operational costs for conditioned waste storage, plasma processing of solid radwaste becomes 1.5-2.5 times more economic than multi-stage solid radwaste processing using the waste incineration, cementation and compaction.

The wide range of accepted waste and single-stage nature of the process ensure that the plasma method is favoured over incineration.

Application of the plasma-pyrolytic method for radioactive waste treatment in a shaft furnace is most economic at nuclear power plants, where electric energy is readily available and its cost is low. In addition, its introduction would improve not only economic efficiency, but also environmental safety for management of complex radioactive waste.

Thermal processing of radwaste is accompanied by generation of combustion gases, which contain, along with air-borne radioactive particles, harmful non-organic chemical substances

ХАРАКТЕРИСТИКИ ХИМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ ШЛАКОВ CHEMICAL RESISTANCE CHARACTERISTICS OF THE SLAG

Компонент / Component	Na+	¹³⁷ Cs	²³⁹ Pu
Скорость выщелачивания, г/см ² *сут Leaching rate, g/cm ² *day	(2-3)*10 ⁻⁶	(0,3-5)*10 ⁻⁶	(0,8-2)*10 ⁻⁷
Доля выщелоченного компонента (100 суток), % Share of leached-out component (100 days), %	1,1	0,61	0,008

В результате исследований, выполненных ГУП МосНПО «Радон» совместно с НПО «Тайфун», установлено, что в пиролизных газах на выходе плазменной шахтной печи концентрация полихлорированных дибензо-п-диоксинов и дибензофуранов (ПХДД/ПХДФ), в пересчете на токсический эквивалент (ТЭ), в среднем, в пять раз меньше, чем в дымовых газах на выходе камерной печи сжигания отходов.

Содержание суммы ПХДД/ПХДФ в отходящих газах на выходе системы газоочистки установки «Плутон» не превышало 0,014-0,02 нг/м³ ТЭ, что примерно в пять раз ниже европейского норматива для установок сжигания отходов. Концентрация тяжелых металлов в технологических газовых выбросах в атмосферу также была ниже нормативов, установленных в странах Западной Европы.

* * *

Таким образом, внедрение плазменно-пиролитической технологии для переработки твердых радиоактивных отходов АЭС поможет повысить экономическую эффективность обращения с РАО, имеющими разнообразную морфологию, за счет экономии объема хранилищ отходов и уменьшения количества оборудования и операций кондиционирования, а также позволит размещать РАО на длительное хранение с обеспечением безопасности окружающей среды.

Плазменная технология не только решает проблему вновь образующихся эксплуатационных отходов, но и обеспечивает глубокую термическую переработку радиоактивных отходов, накопленных ранее и компактированных в металлических бочках, освобождая место для хранения ТРО.

and organic toxicants. As demonstrated by practical operational experience, the "Pluton" plasma solid radwaste processing plant produces lesser environmental impact as compared to a waste incineration facility with a box furnace.

Joint research by Radon Moscow and RPA "Typhoon" (Obninsk) has established that pyrolysis gases exiting the plasma shaft furnace contain concentrations of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans, which in Toxicity Equivalent are on average five times less than those in combustion gases at the outlet of a box furnace for waste incineration.

The total contents of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans in exhaust gases exiting the gas treatment system of the "Pluton" facility did not exceed 0.014-0.02 ng/m³ in Toxicity Equivalent, which is approximately five times less than the European standard for waste incineration facilities. The concentration of heavy metals in technological gas releases into the atmosphere was also below the standards set in Western European countries.

* * *

Accordingly, introduction of the plasma-pyrolytic technology for treatment of NPP-generated solid radioactive waste will help improve economic efficiency of complex radwaste management by decreasing storage space, conditioning equipment and operations, as well as provide environmental safe long-term disposal.

The plasma technology not only resolves the problem of newly generated operational waste, but also provides deep thermal processing of "legacy" waste and waste compacted inside metallic drums, leaving more space available for storage of solid radwaste.

Тематика конференции:

1. Фундаментальная радиохимия
2. Радиохимические технологии
3. Радиоактивные отходы
4. Поведение радионуклидов в окружающей среде
5. Ядерная медицина
6. Аналитическая химия радиоактивных элементов

www.radiochemistry2012.ru

Организаторы:



Информационные партнеры:



РОССИЙСКОЕ
АТОМНОЕ
СООБЩЕСТВО

БЕЗОПАСНОСТЬ
ЯДЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
И ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

