

*Крот О.П., канд. техн. наук, доц.  
Харьковский национальный университет строительства и архитектуры  
Токаревский В.В., д-р. физ-мат. наук, проф.  
Институт проблем Чернобыля Союза Чернобыль Украины  
Ровенский А.И., канд. техн. наук, с. н. с.,  
Губаренко А.М., н. с.  
Северо-Восточный Научный Центр Национальной академии наук Украины  
Старостина И.В., канд. техн. наук, доц.  
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова*

## ИНСИНЕРАЦИЯ РАДИОАКТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ ЗОНЫ ОТЧУЖДЕНИЯ АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

uch\_opk@rambler.ru

*В результате аварии на атомной электростанции в окружающую среду выбрасывается большое количество радиоактивных веществ. Самыми значительными авариям на атомных электростанциях за последние годы по загрязнению территорий можно назвать аварию на Чернобыльской станции и Фукусима-1. В связи с этим возникает актуальная проблема очистки территорий от долгоживущих радионуклидов. Исследованы состав и свойства материалов, находящихся в зоне отчуждения. Рассмотрена возможность сжигания этих отходов с применением высокоэффективной очистки отходящих газов.*

***Ключевые слова:** радиоактивные отходы, сжигание, компактирование, воздухоочистка, вращающаяся печь.*

**Введение.** Для всех форм жизни, радиация представляет собой угрозу, против которой у организмов нет никакой защиты. Чернобыльская атомная электростанция (АЭС) находится на территории, загрязненной долгоживущими радионуклидами (Зона отчуждения), в результате чего экосистема региона испытала существенные изменения. Земли Зоны отчуждения (48870 гектаров) выведенные из народнохозяйственного оборота, территории промышленной площадки ЧАЭС, которые не связаны со снятием станции из эксплуатации, также не используются [1].

Мировая история подтверждает, что описанная проблема шире, чем только Украинская; она является международной. 11 марта 2011 в результате сильнейшего в истории Японии землетрясения и следующего за ним цунами на АЭС Фукусима-1 произошла большая радиационная авария. Общий объем выброса радиоактивных веществ составлял 900 тыс. ТБк. Площадь загрязнения радиоактивными веществами достигала 800 км<sup>2</sup>. По окончательным подсчетам правительства Японии стихия полностью или частично разрушила свыше 400 тыс. зданий, оставив около 17 млн. тонн обломков и мусора. Свыше 5 млн. тонн мусора отнесло в Тихий океан и частично прибило к западному побережью США и Канады. По предварительным данным, общая площадь земель, которые подлежат дезактивации, составляет 13 тыс. км<sup>2</sup>, или 3 % всей территории Японии.

Аварию на «Фукусиме-1», несмотря на меньшую утечку радиации, можно сравнить с Чернобылем. Чернобыльская катастрофа пока-

зала, что восстановление убытка растягивается надолго и требует гигантских вложений. Японские СМИ пишут: «Инвестиции на эти цели должны быть неограниченными».

Основной вывод: ядерные аварии несут за собою значительный убыток, и восстановление территории после них занимает много сил, средств и времени. Финансовый убыток, включая затраты на ликвидацию последствий АЭС «Фукусима-1», затраты на дезактивацию и компенсацию, оценивается в 100 миллиардов долларов [2]. Поскольку работы по устранению следствий запланированы на 40 лет, большинство жителей оставили свои дома. Одной из важнейших современных экологических проблем является обезвреживание радиоактивных отходов после ядерных аварий.

**Методология.** На основе анализа критериев выбора рационального места расположения, требований безопасности функционирования установки, её обслуживания и эксплуатации, конструктивных особенностей установки и процесса, который в ней реализуется, разрабатывается технология комплексного сжигания (термопереработки) техногенных радиоактивных отходов и соответствующее оборудование (установка). Выполнена экологическая и экономическая оценка предложенной установки.

**Основная часть.** Программой очистки и дезактивации последствий аварий АЭС предусмотрена переработка верхнего слоя грунта, неорганических, строительных материалов и др. При работе с радиоактивными органическими материалами появляется необходимость суще-

ственного сокращения их объема и дезактивации, планируется технология сжигания органических материалов на специализированных и муниципальных мусоросжигательных заводах, оборудованных современными газоочистками. К таким материалам относятся: древесина, ветви, кустарники, лесная подстилка, листья. Необходимо также утилизировать загрязненную спец. одежду, ветошь, ткани, материалы использованных фильтров.

*Целью исследования является* разработка технологии уменьшения объемов радиоактивных отходов, которые образовались при дезактивации территорий, загрязненных вследствие аварии на АЭС.

Сжигание отходов направлено на значительное сокращения их объема, перевода в стабильную инертную форму для долговременной изоляции от потенциального влияния на человека и окружающую среду. Это наиболее эффективный метод сокращения объема органических техногенных радиоактивных отходов низкого и среднего уровня активности (коэффициент сокращения до 100 раз), позволяющий перевести их в негорючее состояние, сконцентрировать радионуклиды в захороняемой золе, сэкономить объемы дорогостоящих хранилищ. Попутно может вырабатываться тепловая и электрическая энергия [3].

При выборе расположения установки сжигания необходимо учитывать такие параметры: место расположения: перспективным местом является близость групповых, главных хранилищ техногенных радиоактивных отходов; наличие вблизи достаточных запасов древесины и листостебельной массы, наличие транспортных магистралей подвоза к установке оборудования и техногенных радиоактивных отходов, наличие линии электропередачи; потребность в вырабатываемой тепловой и электрической энергии вблизи установки; наличие вблизи установки площадки для захоронения золы; отдаленность от места постоянного проживания населения для естественной санитарно-защитной зоны.

Разнообразие морфологического, нуклидного состава отходов, их удельной активности, требований к процессу сжигания, обусловили многообразие аппаратно-технологических схем сжигания.

Конструкции установки должны обеспечивать:

- проведение полного окисления органики, достижение максимального сокращения ее объема;
- поддержание температуры и технологических режимов, обеспечивающих, стабиль-

ность процесса, максимальный переход радионуклидов в золу, минимальный массоперенос радионуклидов в газоочистку;

- очистку дымовых газов от токсичных веществ и аэрозолей радионуклидов до допустимых концентраций;

- безопасность обслуживания и эксплуатации, простоту и надежность конструкции, оптимальную стоимость.

Выбор установки сжигания техногенных радиоактивных отходов был выполнен исходя из таких критериев: рациональная производительность и минимальная стоимость; опыт переработки отходов АЭС, техногенных оперативных отходов, техногенных и бытовых отходов; способность сжигания высоко влажных радиоактивных отходов с большим содержанием цезия; удовлетворение выбросов экологическим нормативам, минимальное количество вторичных отходов; минимальные требования к сортировке, подготовке отходов к сжиганию; достаточность исходных данных для технико-экономической оценки; возможность использования тепловой энергии сжигания для получения теплоэлектрического снабжения.

В большинстве случаев температура горения в пределах 900–1200 °С, зола в виде сыпучего порошка; при плазменном процессе 1400–1800 °С, зола в виде шлака. В плазменных печах сжигаются радиоактивные отходы из смеси разнородных материалов с включениями неорганики; из-за высокой температуры процесс сопровождается массопереносом цезия, затратами энергии на плазмотроны.

Комплекс установки сжигания, предлагаемый фирмой ООО ЕКСИС (рис. 1), предназначен для термokatалитического обезвреживания и сокращения объема биомассы токсичных муниципальных отходов и твердых бытовых отходов с возможностью использования теплоты сгорания органической составляющей для производства тепла и электроэнергии. Производительность установки 30 т/сутки.

В качестве шихты используется: древесина, листья, ветки, биомасса, картон, бумага, текстиль, прочие горючие материалы, солома - 87,4%; пластмасса - 0,5 %; токсичные медицинские материалы - 4%; стекло - 1,4%; негорючие материалы (цветные металлы, строительные материалы) до 5%.

Переработка основана на ротационном принципе сжигания шихты во вращающемся барабане, не требует измельчения шихты и веток. Комплекс состоит из: 1. отделения сортировки и подготовки отходов; 2. отделения термokatалитического обезвреживания дымовых газов; 3. вспомогательных технических соору-

жений, утилизирующей теплоэлектрической станции, административно бытового корпуса и другие.

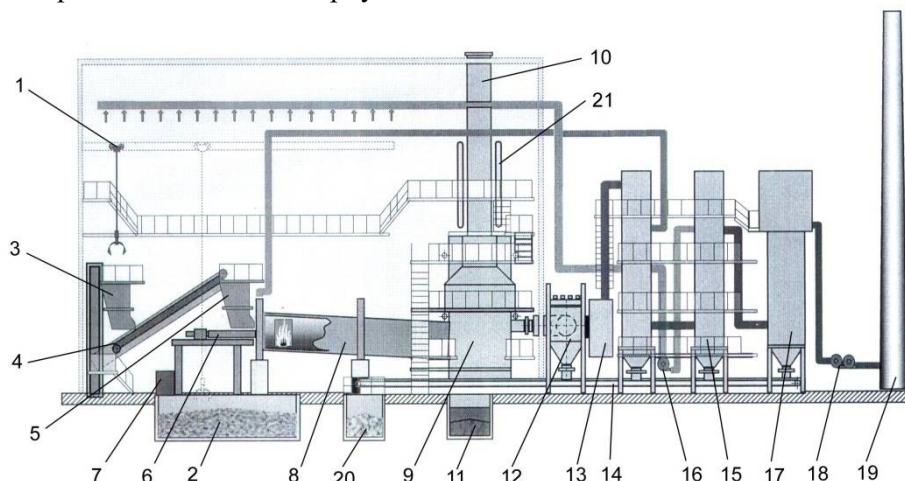


Рис. 1. Технологическая схема установки термопереработки во вращающемся барабане ООО ЕКСИС: 1 – кран балка с грейфером; 2 – отсек для приема отходов; 3 – промежуточный бункер; 4 – ленточный конвейер; 5 – загрузочный бункер; 6 – загрузочное устройство; 7 – дробилка для отсортированных пластмассовых отходов; 8 – вращающаяся печь; 9 – камера дожигания; 10 – крышка дымохода прямого сбрасывания с пневмоприводом; 11 – ванная для приема шлака; 12 – инерционно-вихревой коаксиальный пылеуловитель; 13 – каталитический аппарат; 14 – скребковый конвейер; 15 – рекуператор; 16 – вентилятор высокого давления; 17 – фильтр рукавный; 18 – дымосос; 19 – дымовая труба; 20 – бункер для шлака; 21 – котел – утилизатор

Каждая линия сжигания включает вращающуюся печь, котел утилизатор тепла, воздухонагреватель, шестиступенчатую газовую очистку в составе камеры дожигания, центробежно-вихревого пылеуловителя, систему впрыскивания щелочного раствора, термокатализаторного реактора, рукавного и абсорбционного углетканевого фильтра. Для надежной защиты от выбросов аэрозолей цезия в газоочистку дополнительно монтируется фильтр тонкой очистки «Фартос-Ц2500» (Нижнетуринского завода). Термокатализаторный реактор дочищает вентиляционные выбросы от вредных химических веществ. Зола и шлаки собираются в герметичный бункер; их использование возможно для строительства хранилищ радиоактивных отходов, нежилых объектов, в строительстве дорог и полигонов твердых бытовых отходов.

Технические параметры установки производительностью 30т/сутки: количество образующейся золы 700 т/год; коэффициент сокраще-

ния объема шихты 90–95 %; режим работы непрерывный; выработка вторичного тепла 1,5 ГДж/м<sup>3</sup>.

Экологические аспекты эксплуатации установки:

при сортировке и подготовке шихты уделяется внимание защите от ингаляционного воздействия; сортировочная кабина оборудована системой вентиляции и кондиционирования воздуха, обеззараживание поступающей шихты осуществляется ультрафиолетовыми лампами;

золоудаление выполнено в герметичном исполнении с использованием гидрозатвора;

образующиеся от сжигания дымовые газы очищаются от пыли и аэрозолей современными фильтрами, обеспечивающими не превышение предельных значений выбросов вредных веществ согласно нормам. В табл. 1 приведен сравнительный состав загрязнителей в дымовых выбросах.

Таблица 1

### Сравнительный состав загрязнителей в дымовых выбросах

Загрязнитель	Концентрации, беспечиваемые установкой сжигания, мг/м <sup>3</sup>	Допустимые концентрации, мг/м <sup>3</sup>	
		Украинские нормы	Международные нормы
Оксид углерода	5,7	250	50
Хлористый водород	0,01	30	10
Диоксид серы	–	500	50
Оксислогоазота	70	500	200
Органический углерод	9	–	10
Диоксины, фураны	0,01	–	0,1
Запыленность	2	50	10

Среди основных преимуществ предложенной установки – меньшая стоимость, более чем в два раза, в сравнении с мировыми аналогами.

Газоочистка была также протестирована введением в шихту пластика рецептуры 57–40 (полихлорвиниловый пластифицированный рулонный), используемого на АЭС и загрязненного цезием – 133 до удельной радиоактивности 8 кБк/кг. После сжигания шихты были замерены содержания цезия в вентиляционных выбросах; замеры составили 0,1 Бк/м<sup>3</sup>, что удовлетворяет нормам радиационной безопасности и санитарным правилам.

**Выводы.** Применение установки термопереработки во вращающемся барабане ООО ЕК-СИС обеспечивает: переводение радиоактивных отходов в форму, приемлемую для захоронения, которая исключает их миграцию в окружающую среду. Радионуклиды сконцентрированы в маленьком объеме отходов, что облегчает и ускоряет процесс их захоронения. Минимизация газообразных радиоактивных выбросов и жидких радиоактивных отходов в процессе переработки продуктов дезактивации; экономия затрат вследствие уменьшения объемов радиоактивных

отходов для переработки в результате сортировки радиоактивно загрязненных материалов.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Двадцять п'ять років Чорнобильської катастрофи. Безпека майбутнього. Національна доповідь України. К.: Вид. КІМ, 2011. 355 с.

2. V. Tokarevsky. Compaction of radioactive waste produced by decontamination of territories polluted due to the accident at Fukushima Daiichi Nuclear Power Station / ISTC/STCU Technical Review Committee Meeting of Fukushima Initiative 'On the environmental assessment for long term monitoring and remediation in and around Fukushima // Hitotsubashi University Hall Tokyo, Japan. (Tokyo 5-6 November 2015.), Tokyo: ISTC/STCU, 2015. С. 10–27.

3. Патент України на корисну модель №201111073, 16.09.2011. Остапчук В.М., Ровенський О.І., Семиноженко В.П. Установка термокаталітичного знешкодження муніципальних відходів з утилізацією вторинних ресурсів//Патент України №69201.2012.Бюл. №8.

---

**Krot O.P., Tokarevskyy V.V., Rovensky A.I., Gubarenko A.M., Starostina I.V.**

### INCINERATION OF RADIOACTIVE MATERIALS

#### EXCLUSION ZONE NUCLEAR POWER PLANT

*After the accident at the nuclear power plant into the environment is emitted significant amount of radioactive material. The most significant accidents in nuclear power plants during recent years the contamination of territories can be called an accident at the Chernobyl and Fukusima-1. This raises an urgent problem cleaning areas from long-lived radionuclides. Were investigated the composition and properties of materials in the exclusion zone. The possibility of incineration of these wastes using high-efficiency flue gas cleaning.*

**Key words:** radioactive waste, incineration, compaction, air cleaning, rotary kiln.

---

**Крот Ольга Петровна**, кандидат технических наук, доцент кафедры безопасной жизнедеятельности и инженерной экологии.

Харьковский национальный университет строительства и архитектуры.

Адрес: Украина, 61002, Харьков, ул. Сумская, д. 40.

E-mail: uch\_opk@rambler.ru

**Токаревский Владимир Васильевич**, доктор физико-математических наук, профессор.

Институт проблем Чернобыля Союза Чернобыль Украины

Адрес: Украина, 03028, Киев, пр. Науки, д.46.

E-mail: tokarevsky@voliacable.com

**Ровенский Александр Иванович**, кандидат технических наук, старший научный сотрудник.

Северо-восточный научный центр Академии наук Украины.

Адрес: Украина, 61002, Харьков, ул. Фрунзе, д. 8.

E-mail: uch\_opk@rambler.ru

**Губаренко Андрей Михайлович**, кандидат технических наук, научный сотрудник.

Северо-восточный научный центр Академии наук Украины.

Адрес: Украина, 61002, Харьков, ул. Фрунзе, д. 8.

E-mail: uch\_opk@rambler.ru

**Старостина Ирина Викторовна**, кандидат технических наук, доцент

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г.Шухова

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д.46.

E-mail: starostinairinav@yandex.ru