

УДК 620.037

**ОХРАНА ТРУДА И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОБРАЩЕНИЯ
С ЗОЛЬНЫМИ ОТХОДАМИ КОТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК
НА ДРЕВЕСНОМ ТОПЛИВЕ, ЗАГРЯЗНЕННОМ РАДИОНУКЛИДАМИ**

*канд. техн. наук, доц. В.Н. СОЛОВЬЕВ, канд. техн. наук В.В. САПЛИЦА,
канд. хим. наук В.П. ТРУБНИКОВ, И.Г. ПЛЕЩАНКОВ, Т.Л. ПУШКАРЕВА, Т.А. ЗАЯЦ
(Объединенный институт энергетических и ядерных исследований – Сосны, НАН Беларуси, Минск);
Н.М. ПОЗЫЛОВА*

(Государственное научно-производственное объединение «Центр» НАН Беларуси, Минск)

Предложены концептуальные положения использования дровяного сырья с загрязненных радионуклидами территорий в качестве топлива, включая топливо, образующее золу категории радиоактивных отходов. Проведен анализ способов иммобилизации зольных отходов после сжигания загрязненного радионуклидами биотоплива, включая иммобилизацию в матрицу из различных цементов и полипропиленовую тару. Рассмотрена технология обращения с зольными отходами от сжигания древесного топлива на энергетических объектах Республики Беларусь, включая зольные отходы категории РАО.

Введение. Энергетическая безопасность в Республике Беларусь повышается широким вовлечением в топливный баланс местных видов топлива, возобновляемых и нетрадиционных источников энергии, из которых значительная часть ресурсов приходится на древесное топливо и растительную биомассу [1].

В результате Чернобыльской катастрофы часть районов республики, включающих около 20 % лесных территорий, была загрязнена радиоактивными веществами, в которых радиоэкологическую обстановку в настоящее время определяют в основном изотопы цезия ^{137}Cs , стронция ^{90}Sr , плутония, америция [2]. Часть радионуклидов переходит из загрязненной почвы и накапливается в биомассе.

При сжигании загрязненной радионуклидами древесины из-за низкой зольности данного топлива происходит концентрация радиоактивных веществ в минеральной части отходов (золе) с повышением удельной активности золы в несколько десятков раз (до опасного уровня радиоактивных отходов РАО) по сравнению с удельной активностью исходной древесины [3].

В настоящее время используются Республиканские допустимые уровни содержания ^{137}Cs в древесине, продукции из древесины и древесных материалов и прочей непищевой продукции лесного хозяйства, в соответствии с которыми допустимый уровень содержания ^{137}Cs в топливе древесном не должен превышать 740 Бк/кг (РДУ/ЛХ-2001) [4]. Однако при разработке и обосновании норматива не рассматривался сценарий сжигания древесины в мощных котельных установках с образованием значительных объемов радиоактивных зольных отходов. На некоторых котельных промышленных, тепло-снабжающих и энергетических объектах, расположенных на загрязненных радионуклидами и близлежащих к ним территориях, сжигание часто сопровождается выходом золы категории «твердые радиоактивные отходы» (РАО – удельная активность 10000 Бк/кг по ^{137}Cs и выше), что представляет радиационную опасность для персонала, населения и окружающей среды [5]. Обращение с зольными отходами категории РАО требует принятия защитных мер, строгого выполнения правил охраны труда, производственной санитарии и ответственного применения специальных технологий, оборудования, материалов, тщательной подготовки персонала.

Предложена концепция использования древесного топлива с загрязненных территорий республики, включая:

- на начальном этапе – в существующих промышленных котельных и мини-ТЭЦ сжигание топлива с уровнем содержания ^{137}Cs , обеспечивающем снижение риска выхода золы категории РАО и незначительное снижение ресурса древесного топлива в загрязненных районах;

- на последующем этапе – более существенное ограничение содержания ^{137}Cs в топливе при его сжигании в действующих котельных;

- на заключительном этапе – использование топлива, при сжигании которого зольные отходы могут иметь активность уровня категории РАО и выше, в модернизированных котельных установках (оснащенных системами: безопасности, очистки топочного пространства, газоочистки, обращения с зольными отходами, радиационного контроля) для обеспечения безопасной эксплуатации котельных и минимизации их воздействия на окружающую среду.

Одной из ответственных и сложных проблем охраны труда, санитарии и экологии является обращение с радиоактивной золой от сжигания загрязненного древесного топлива, что связано со значительными объемами отходов с широким спектром радионуклидов чернобыльского происхождения, высокой вероятностью образования зольных отходов категории «радиоактивные отходы».

В Беларуси ежегодно образуется в среднем около 50 000 т зольных отходов от сжигания различных видов твердого топлива. Основная доля (почти 80 %) этого объема приходится на золу от сжигания древесного топлива. Увеличение объема использования местных видов топлива, предусмотренное Госпрограммой, приведет к увеличению потоков зольных отходов, поскольку основную долю местных топлив составляет древесина, зольность которой в десятки раз выше зольности жидких и газообразных видов топлива. Если указанная выше программа будет реализована, то в республике ежегодно будет образовываться более 300 000 т зольных отходов, что составит почти 10 % суммарного годового количества коммунальных и промышленных отходов.

Зола от сжигания местных видов топлива часто содержит радиоактивные изотопы, тяжелые металлы, токсичные и другие опасные соединения. Особенно это касается древесного топлива с загрязненными радионуклидами территорий.

По результатам исследований, проведенных Республиканским научно-практическим центром гигиены, зольные отходы могут быть отнесены к 3-му классу токсичности. Поэтому, как правило, зольные отходы из котлоагрегатов, сжигающих биомассу, отправляются в золоотвалы. Исключение составляет бытовой сектор в сельской местности, где зола из печей используется для повышения качества почв без должного контроля.

Существуют технологии обращения с зольными отходами, которые могут быть реализованы с учетом наличия в них опасных соединений и радионуклидов, что позволит предотвратить угрозу нанесения этими соединениями вреда окружающей среде и человеку.

Радиоактивная зола – это открытый источник ионизирующих излучений, содержащих радионуклиды цезия, стронция и плутония: ^{137}Cs , ^{134}Cs , ^{90}Sr , ^{239}Pu , ^{240}Pu , причем до 40 % радиоцезия и радиостронция в них находится в подвижной форме. Перенос или миграция содержащихся в золе радионуклидов может способствовать вторичному загрязнению подвергшихся дезактивации или чистых территорий и объектов. Поэтому сбор, удаление и захоронение радиоактивных зольных остатков в условиях загрязнения в результате катастрофы на ЧАЭС густонаселенных районов республики приобретают важнейший экологический аспект защиты населения и окружающей среды от вредного воздействия радионуклидов.

В рамках выполнения Плана мероприятий по установлению допустимой нормы загрязненности топливной древесины в целях ее безопасного использования с определением объемов использования по областям на период до 2020 года, Объединенным институтом энергетических и ядерных исследований – Сосны совместно с заинтересованными ведомствами и организациями выполнены обоснование и разработка экологически безопасной технологии обращения с загрязненными радионуклидами (Технологического регламента по обращению с зольными отходами от сжигания древесного топлива на энергетических объектах Республики Беларусь, включая зольные отходы категории РАО).

Общая характеристика зольных радиоактивных отходов. Согласно гигиеническим нормативам РДУ/ЛХ-2001 [4] в древесном топливе с загрязненными радионуклидами территорий регламентируется содержание радиоактивного ^{137}Cs с ограничением уровня 740 Бк/кг. К твердым радиоактивным отходам, в том числе и к зольным, в соответствии с Санитарными правилами обращения с радиоактивными отходами относятся не предназначенные для дальнейшего использования отходы, в которых удельная активность радионуклидов больше значений, приведенных в приложении 19 НРБ-2000 [6]. Зольные отходы с удельной активностью 10 кБк/кг и выше (по ^{137}Cs) относятся к РАО. Верхний предел удельной активности радионуклидов в низкоактивных РАО регламентируется СПОРО-2005 [7] и составляет 10^3 кБк/кг для бета-излучающих радионуклидов.

При сжигании древесного топлива с загрязненными радионуклидами территорий за счет концентрирования в минеральной части содержание радионуклидов в зольных отходах существенно выше их содержания в исходном древесном топливе. Степень концентрации содержащихся в древесине радионуклидов зависит от зольности топлива, способа его сжигания, механического и химического недожога. При содержании ^{137}Cs в древесном топливе до 200 Бк/кг вероятность образования радиоактивных зольных отходов низкая. Однако при сжигании топлива с содержанием ^{137}Cs от 200 до 740 Бк/кг вероятность образования золы категории РАО высока, и такая зола требует особых мер безопасности при обращении с ней и захоронении.

Особенностью зольных отходов от сжигания древесного топлива является стабильность минерального состава золы (преимущественно это оксиды кальция, кремния, магния), коррозионная активность, переменное содержание углерода, что связано с технологией сжигания (механический недожог топлива). Высокая температура размягчения (плавления) древесной золы и сжигание в промышленных котлах и мини-ТЭЦ измельченного древесного топлива способствует образованию в основном мелкодисперсной пылеобразной фракции отходов. Пылеобразные, легкоподвижные фракции радиоактивных зольных отходов более опасны, чем другие твердые РАО, так как при перемещении и пылении легко проникают в органы дыхания, могут загрязнять одежду, кожные покровы, оборудование, помещения,

окружающую среду. При хранении золы в контакте с атмосферой происходит ее стабилизация за счет взаимодействия оксидов с влагой и углекислым газом (CO_2) с уплотнением, снижением щелочных показателей до нейтральных, снижением скорости выщелачивания [8].

Сжигание древесного топлива с загрязненных территорий в котельных и мини-ТЭЦ, расположенных главным образом в пределах или вблизи населенных пунктов, приводит к образованию крупнотоннажных потоков зольных РАО. Зольные радиоактивные отходы являются открытыми источниками ионизирующих излучений, содержащих в своем составе долгоживущие радионуклиды цезия (^{137}Cs , ^{134}Cs), стронция (^{90}Sr , ^{239}Pu) и плутония (^{240}Pu). При этом до 40 % радиоцезия и радиостронция в зольных отходах находится в подвижной форме, т.е. переходят в раствор при возможном контакте с водой. Перенос или миграция радионуклидов, содержащихся в этих отходах, может приводить к вторичному загрязнению дезактивированных или чистых территорий и объектов. Поэтому сбор, удаление и захоронение радиоактивных зольных отходов в условиях загрязнения в результате катастрофы на ЧАЭС густонаселенных районов республики приобретают важнейший экологический аспект защиты населения и окружающей среды от вредного воздействия радионуклидов. Зола часто загрязнена остатками несгоревшего дерева, угля, песком, кусочками штукатурки, кирпича и т.д. Такой специфический состав зольных остатков может сильно повлиять на процесс ее переработки и отверждения и потребовать своей определенной методики.

Анализ информационной базы и технико-экономических и радиационно-экологических характеристик технологий обращения с зольными отходами категории РАО. Зольные отходы от сжигания загрязненной радионуклидами древесины характеризуются, как правило, низкой удельной активностью, и при этом образуются в больших объемах. Рентгенофазовый анализ, проведенный на дифрактометре ДРОН-3М, показал, что основной фазой золы является карбонат кальция (кальцит), основная примесь – диоксид кремния SiO_2 . Зола содержит также апатит $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$, доломит $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ и полевой шпат. Присутствие большого количества кальцита, начинающего разлагаться при температуре 500 °С и полностью диссоциирующего около 900 °С [9; 10], свидетельствует о низкой температуре образования зольных остатков. Это подтверждается также термогравиметрическим анализом золы на приборе Derivatograph 1000 [11].

Наиболее распространенным, простым и относительно дешевым методом отверждения зольных отходов является цементирование – включение радиоактивной золы в цементную матрицу.

Для отверждения зольных отходов в лабораторном масштабе применялась методика цементирования, где в качестве минеральной добавки к портландцементу марки М-500 использовалась исследуемая радиоактивная зола. Водоцементное отношение для цементно-зольного теста рассчитывалось исходя из $w/c = 0,3$ для цемента, $w/z = 0,5$ для золы и уточнялось в процессе эксперимента [11].

Наряду с известными методами иммобилизации радиоактивных зольных отходов, такими как цементирование, пластификация, битумирование, фиксация золы в керамической матрице, появились новые. К ним относится способ плавления золы при температуре 1200...1400 °С с использованием микроволнового разогрева. При этом зола плавится и превращается в шлак, в котором радиоактивные отходы удерживаются так же эффективно, как в стеклоподобной матрице. Разработан и рекламируется метод плавления золы с использованием высокочастотного индукционного нагрева при температуре 1200...1600 °С с последующим отверждением. Объем радиоактивных отходов уменьшается в 5...6 раз по сравнению с другими методами отверждения. Следует упомянуть также включение золы в полиэтиленовую матрицу, осуществляемое при пропускании смеси золы и отходов полиэтилена через экструдер. В этом процессе происходит плавление смеси без использования внешнего нагрева, обеспечивающее получение прочного гидравлически стойкого компаунда с содержанием золы до 85 % [12].

Самый дешевый способ захоронения радиоактивных зольных отходов – это размещение их в приповерхностных могильниках, например, в разработанных и используемых в настоящее время в республике сооружениях типа ПЗОД-II [13]. При таком способе захоронения задача иммобилизующей матрицы сводится к обеспечению безопасности при сборе золы и доставке ее к месту захоронения. На практике для этого достаточно изолировать отходы в пылезащищенную тару, например полипропиленовые мешки, что обеспечивает безопасное проведение необходимых транспортно-технологических операций.

В таблице представлены составы полученных и исследуемых отвержденных зольно-цементных образцов, а также определенные в процессе отверждения сроки схватывания теста цемент-зола нормальной густоты (количество воды затворения обеспечивает получение заданной консистенции, соответствующей нормальной по ГОСТ 310.3-76).

Анализ приведенных данных показал, что повышение содержания золы в цементной смеси увеличивает скорость затвердевания, что совпадает с выводами работы [14], в которой исследовался процесс цементирования высокотемпературной золы значительной активности. Полученные в результате отверждения образцы с z/c от 0,13 до 0,80 по массе, а также образцы с содержанием чистой золы без добавки цемента сохранили свою форму, т.е. форму емкости, в которой происходило отверждение.

Состав и сроки схватывания исследованных отвержденных цементно-зольных образцов

Состав образцов, % мас.			Сроки схватывания, ч	
цемент	зола	вода	начало	конец
76,9	0	23,1	4,5	< 8
65,6	9,8	24,6	3,5	< 8
43,5	29,0	27,5	1,0	6,0
28,2	42,3	29,5	1,0	2,5
20,8	48,6	30,6	0,7	3,0
13,7	54,8	31,5	1...1,5	4...4,5
0	66,7	33,3	< 8	

Исходя из сказанного можно сделать вывод, что бытовая зола, как и высокотемпературные золы, обладает вяжущими и пуццолановыми свойствами, но в меньшей степени.

Наиболее плотные на вид образцы с наименьшим количеством видимых пор – это образцы с соотношением z/c 0,13 и 0,40. По мере увеличения содержания золы образцы теряли свой цементный (серый) цвет и приобретали характерный для золы бежевый оттенок, а на вид становились менее плотными, что подтверждается экспериментальной кривой изменения кажущейся плотности образцов в зависимости от содержания золы.

Таким образом, при отверждении цементованием удастся включить в цементную матрицу до 80 % мас. включительно радиоактивных зольных бытовых отходов, сохранив при этом целостность образцов.

Для отвержденных низко- и среднеактивных отходов в большинстве стран принята концепция их захоронения в могильниках, расположенных вблизи поверхности земли или на небольшой глубине. Выход радионуклидов в окружающую среду связан главным образом с контактом отходов с грунтовой или поверхностной водой, которая может попасть в могильник в результате нарушения его герметичности. Разрушение твердой матрицы, содержащей радиоактивные отходы, в процессе хранения может привести к выходу радионуклидов в окружающую среду. Основными свойствами, гарантирующими безопасность транспортировки и захоронения отвержденных радиоактивных отходов, являются высокие прочностные свойства зольно-цементных матриц и их стойкость к выщелачиванию радионуклидов, переходящих в водную среду при контакте с водой [15].

По техническим требованиям механическая прочность на сжатие зольно-цементных компаундов должна быть меньше или равна 5 МПа, а скорость выщелачивания меньше 10^{-3} г/(см² сут) [16].

Механические испытания на прочность полученных зольно-цементных компаундов дали обнадеживающие результаты. Зависимости скорости выщелачивания от времени испытания образцов, содержащих 40 и 60 % мас. золы оказались идентичными. На основании полученных данных можно сделать вывод, что установившаяся дифференциальная скорость выщелачивания, равная в среднем $2 \cdot 10^{-3}$ г/(см² сут), несколько превышает вышеуказанные нормативы.

Получив цельные образцы зольно-цементных компаундов с удовлетворительными механическими свойствами, но недостаточной стойкостью к выщелачиванию, необходимо найти способы улучшения физико-химических свойств компаундов, и в первую очередь способ уменьшения выщелачивания радионуклидов цезия. Наиболее простые и дешевые способы достижения поставленной цели заключаются в применении природных сорбирующих добавок, например, белорусской монтмориллонитовой глины, которая должна хорошо сорбировать радионуклиды [11; 17], а также природных пуццоланов, улучшающих физико-химические свойства цемента [9; 10].

Экспериментальные исследования показали, что введение сорбционных добавок в виде дешевых природных материалов – монтмориллонитовой глины (аскангель) или опоки – дали возможность получить отвержденные зольно-цементные компаунды с содержанием золы 40...60 % мас., физико-химические свойства которых существенно улучшают характеристики матрицы и обеспечивают соответствие нормативным требованиям, что дает возможность реализовать эффективную и безопасную иммобилизацию радиоактивных зольных отходов низкого уровня активности.

Вместе с тем применение метода цементирования зольных РАО в промышленных масштабах связано с рядом трудностей, в том числе экономических. Как уже указывалось, ожидаются большие материальные потоки зольных отходов, их цементирование увеличит объем и массу отходов, требующих захоронения, в 2...2,5 раза. Эта технология потребует сложного и громоздкого оборудования, предназначенного как для отверждения, так и для транспортирования к месту захоронения зольных РАО, на каждом объекте. Следует учитывать, что котельные и мини-ТЭЦ, на которых будет внедряться технология, тер-

риториально сильно рассредоточены. Следовательно, это приведет к значительным транспортным расходам, которые неизбежно будут увеличивать стоимость отпускаемого тепла и электроэнергии.

В то же время известны свойства золы к слеживанию и стабилизации (нейтрализация оксидов щелочных металлов и некоторое естественное цементирование отходов при их незащищенном хранении за счет контакта с атмосферной влагой и диоксид карбонатом) [8].

Стабилизированные зольные отходы, захороненные должным образом в гидроизолированные приповерхностные могильники, уже не будут представлять опасности для окружающей среды.

Для достижения приемлемого уровня безопасности при обращении с зольными радиоактивными отходами на объекте необходимо обеспечить их изоляцию в пылезащищенную тару, например, герметично закрытые полипропиленовые мешки. Эта технология может быть реализована следующим образом. После сжигания древесного топлива зола (подовая и унос) удаляется из котла закрытыми транспортерами в промежуточный бункер. Система золоудаления котла должна быть механизированной закрытого исполнения (предусматривающего отсутствие пыления). В промежуточном бункере проводится первичный контроль и предварительная классификация зольных отходов по удельной активности (по ^{137}Cs).

Зола с активностью ниже уровня РАО удаляется из промежуточного бункера и вывозится в золоотвал или на полигон в соответствии с действующими правилами, инструкциями и нормативами для не радиоактивных зольных отходов. Конструкция промежуточного бункера должна предусматривать как выгрузку золы для вывоза, так и перемещение золы транспортером в узел дозирования и упаковки.

Если зола имеет уровень активности по ^{137}Cs выше уровня РАО, зола из промежуточного бункера перемещается транспортером в узел дозирования и упаковки, проходит стадии упаковки, контроля и учета, контейнеризации, временного хранения и транспортируется на захоронение в специализированную организацию по захоронению РАО (СПО).

В узле дозирования и упаковки проводится загрузка радиоактивных зольных отходов в упаковки (двойные полипропиленовые мешки с полиэтиленовым вкладышем по ГОСТ 30090-93) и герметизация упаковок. При перегрузке радиоактивных зольных отходов в упаковки не допускается температура золы выше $50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Загрузка радиоактивных зольных отходов в упаковки и герметизация упаковок должны производиться в автоматическом режиме при минимальном участии персонала.

Полипропиленовые мешки по ГОСТ 30090-93 вместимостью 60 дм^3 , используемые для упаковки зольных отходов, должны быть герметичными, механически прочными. Количество золы в упаковке варьируется в зависимости от состава/плотности золы и находится в диапазоне $30\text{...}50\text{ кг}$. Активность упаковки с учетом количества загруженной золы ограничивается пределами удельной активности РАО и может находиться в диапазоне от $0,3$ до 50 МБк (по ^{137}Cs).

Упаковки с зольными радиоактивными отходами с использованием транспортно-погрузочного устройства загружаются в металлические контейнеры, каждый из которых представляет транспортный упаковочный комплект. Вместимость контейнера – $10\text{...}12$ упаковок. Контейнеры транспортно-погрузочным устройством перемещаются на временное хранение, потом спецтранспортом вывозятся на захоронение.

На всех стадиях обращения с зольными радиоактивными отходами производится радиационный контроль, обеспечение радиационной безопасности и личной гигиены в соответствии с требованиями нормативных документов, действующих в Республике Беларусь.

В рамках выполнения Плана мероприятий по установлению допустимой нормы загрязненности топливной древесины в целях ее безопасного использования с определением объемов использования по областям на период до 2020 года Объединенным институтом энергетических и ядерных исследований – Сосны совместно с заинтересованными ведомствами и организациями разработаны обоснование и технология обращения с загрязненными радионуклидами зольными отходами (Технологический регламент по обращению с зольными отходами от сжигания древесного топлива на энергетических объектах Республики Беларусь, включая зольные отходы категории РАО).

Технологический регламент определяет базовые технологии, порядок и требования при обращении с радиоактивными зольными отходами, получаемыми при сжигании древесного топлива с территорий (зон) радиоактивного загрязнения в промышленных котельных и мини-ТЭЦ, с последующим захоронением отходов. Зольные отходы от сжигания загрязненной радионуклидами древесины характеризуются, как правило, постоянным составом и низкой удельной активностью. Наиболее оправданный с экономической точки зрения способ захоронения таких отходов – это размещение их в приповерхностных могильниках специализированных организаций по обращению и захоронению РАО. При таком способе захоронения не требуется иммобилизующей матрицы. Необходимо изолировать отходы в пылезащищенную тару, например полипропиленовые мешки, что обеспечивает безопасное проведение необходимых транспортно-технологических операций, включая захоронение отходов, при одновременном обеспыливании, вентиляции помещений, выполнении надлежащих санитарно-гигиенических процедур.

Регламент распространяется на специализированные промышленные котельные и мини-ТЭЦ теплопроизводительностью 0,1 МВт и выше, сжигающие древесное топливо с загрязненных территорий с содержанием ^{137}Cs не более 740 Бк/кг согласно гигиеническим нормативам РДУ/ЛХ-2001 [4] и осуществляющие свою деятельность в соответствии с НРБ-2000 [6], как радиационные объекты.

Для строительства таких объектов необходимы дополнительные капитальные вложения на оборудование котельной установки и инфраструктуру обращения с радиоактивной золой. Требуются герметичные транспортеры золы, системы обдува топочных и конвективных поверхностей, системы газоочистки и контроля радиационной безопасности, упаковки, контейнеризации, транспортировки, строительство пункта захоронения радиоактивной золы, затраты на которые для типового объекта (аналог – Вилейская мини-ТЭЦ), оценены до 12 % от суммарных. Эксплуатационные расходы также увеличатся за счет ввода и эксплуатации мини-ТЭЦ как радиационного объекта с увеличением штатного состава и затрат, связанных с обращением с радиоактивными зольными отходами. Показано заметное повышение капитальных и эксплуатационных затрат на создание топливно-энергетического направления на территориях с уровнем почвенного загрязнения до 40 Ки/км² и эксплуатации мини-ТЭЦ на загрязненном древесном топливе с содержанием ^{137}Cs более 200 Бк/кг (без ограничения верхнего предела согласно стандарту РДУ/ЛХ-2001).

Заключение. Зольные отходы от сжигания загрязненной радионуклидами древесины характеризуются, как правило, постоянным составом и низкой удельной активностью. Наиболее оправданный с экономической точки зрения способ захоронения таких отходов – это размещение их в приповерхностных могильниках специализированных организаций по обращению и захоронению РАО. При таком способе захоронения не требуется иммобилизующей матрицы. Достаточно изолировать отходы в пылезащитную тару, например полипропиленовые мешки, что обеспечивает безопасное проведение необходимых транспортно-технологических операций.

Предложены концептуальные положения использования дровяного сырья с загрязненных радионуклидами территорий в качестве топлива, включая топливо, образующее золу категории радиоактивных отходов. Разработана технология обращения с радиоактивными зольными отходами, получаемыми при сжигании древесного топлива с территорий (зон) радиоактивного загрязнения в промышленных котельных и мини-ТЭЦ, с последующим захоронением отходов. Данная технология обеспечит радиационную и радиоэкологическую безопасность обращения с зольными отходами и мест их захоронения при использовании древесного топлива с загрязненных территорий с содержанием ^{137}Cs не более 740 Бк/кг.

Проведена оценка радиоэкологических и технико-экономических показателей при сжигании загрязненного радионуклидами древесного топлива на мини-ТЭЦ, показано существенное увеличение капитальных и эксплуатационных затрат при их строительстве и эксплуатации как радиационных объектов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мясникович, М.В. Управление системой обеспечения экономической безопасности / М.В. Мясникович, С.С. Полоник, В.В. Пузиков. – Минск: Право и экономика, 2006. – 380 с.
2. Михалевиц, А.А. Атомная энергетика: состояние, проблемы, перспективы / А.А. Михалевиц, М.В. Мясникович. – Минск: Беларус. навука, 2009. – 188 с.
3. Радиоэкологические аспекты сжигания древесного топлива на крупных энергетических установках Беларуси / В.Н. Соловьев [и др.] // Энергетическая стратегия. – 2010. – № 1(13). – С. 50 – 54.
4. Республиканские допустимые уровни содержания цезия-137 в древесине, продукции из древесины и древесных материалов и прочей непищевой продукции лесного хозяйства (РДУ/ЛХ-2001): Гигиенические нормативы ГН 2.6.1.10-1-01-2001 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь, 2001. – № 20, 8/4937.
5. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСП-2002): постановление Главного санитарного врача Респ. Беларусь, 22 февраля 2002 г., № 6 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2002. – № 35, 8/7859.
6. Нормы радиационной безопасности (НРБ-2000): ГН 2.6.1.8-127-2000 // Правовые акты национального банка, министерств, иных республиканских органов государственного управления. – Введ. 25.01.00. – Минск, 2000. – С. 68 – 123.
7. Республиканские санитарные нормы, правила и гигиенические нормативы. Санитарные правила обращения с радиоактивными отходами (СПОРО-2005): СП 2.6.6.11-7-2005. – Введ. 07.04.05. – Минск: Минздрав Респ. Беларусь, 2005. – 43 с.
8. Вильдбахер, Н. Утилизация золы котельных, работающих на древесном топливе / Н. Вильдбахер. – Минск: BIOS ПРООН/ГЭФ/Правительство Респ. Беларусь, 2007. – 28 с.

9. Improved Cement Solidification of Low and Intermediate Level Radioactive Wastes: Technical reports. Series № 350. – Vienna: IAEA, 1993. – P. 110.
10. Ли, Ф.М. Химия цемента и бетона / Ф.М. Ли. – М., 1961. – 645 с.
11. Оптимизация состава и соотношения компонентов цементной матрицы при иммобилизации радиоактивной золы от сжигания древесины и бытовых отходов / О.И. Зацепин [и др.]. – Минск, 2000. – 19 с. – (Препринт / НАН Беларуси, Ин-т проблем энергетики; ИПЭ-53).
12. Treatment of Chernobyl Contaminated Ash Using Thermoplastic Encapsulation / P. Kalb, L. Milian, A. Grebenkov, V. Zabrodski // Proc. of WM'98 International Conference, Tucson, USA, March 1 – 5, 1998 [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые дан. – Tucson, USA, 1998. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).
13. Санитарные правила и нормы. Обращение с отходами дезактивации, образующимися в результате работ по преодолению последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС (СПООД-2004): СанПиН 2.6.6.8-8-2004. – Введ. 23.11.2004. – Минск: Минздрав Респ. Беларусь, 2005. – 25 с.
14. Gulis, G. Studium možnosti spracovanja popola z experimentalnej spalovne radioaktivnych odpadov / G. Gulis, E. Hladky // Jaderna energie. – 1988. – № 9. – P. 331 – 335.
15. Факторы, влияющие на качество низко- и среднеактивных отвержденных отходов / Т.А. Быховская [и др.] // Атомная энергия. – 1995. – Т. 79, № 3. – С. 197 – 200.
16. Качество компаундов, образующихся при цементировании жидких радиоактивных отходов низкого и среднего уровней активности. Технические требования: РД 95 10497-93. – М., 1993.
17. Исследование стабильности физико-химических свойств цементированных радиоактивных древесных зольных отходов оптимального состава / О.И. Зацепин [и др.]. – Минск, 2000. – 25 с. – (Препринт / НАН Беларуси, Ин-т проблем энергетики; ИПЭ-64).

Поступила 23.11.2011

**LABOR SAFETY AND TECHNICAL AND ECONOMIC ASPECTS
OF THE REFERENCE WITH A CINDERY WASTE OF BOILER INSTALLATIONS
ON WOOD FUEL POLLUTED BY RADIO NUCLIDES**

**V. SOLOVJEV, V. SAPLITSA, V. TRUBNIKOV, I. PLESTCHANKOV,
T. PUSHKAREVA, T. ZAYATS, N. POZILOVA**

Conceptual positions of use of wood raw materials from the territories polluted by radio nuclides as fuel, including the fuel forming ashes of a category of a radioactive waste are offered. The analysis of ways of an immobilization of a cindery waste after burning of the biofuel polluted by radio nuclides, including an immobilization in a matrix from various cements and polypropylene container is carried out. The technology of the reference with a cindery waste from burning of wood fuel on power objects of Byelorussia, including a cindery waste of a category of the Russian Open Society is considered.