



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2011101865/07, 19.01.2011

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
19.01.2011

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 19.01.2011

(45) Опубликовано: 20.08.2012 Бюл. № 23

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 2109355 C1, 20.04.1998. RU 2294571 C1, 27.02.2007. RU 2357307 C1, 27.05.2009. US 4950426 A, 21.08.1990. JP 11023795 A, 29.01.1999.

Адрес для переписки:

456770, Челябинская обл., г. Снежинск, ул.
Васильева, 13, ФГУП "РФЯЦ - ВНИИТФ им.
академ. Е.И. Забабахина", отдел
интеллектуальной собственности, Г.В.
Бакалову, а/я 245

(72) Автор(ы):

Горин Николай Владимирович (RU),
Воробьев Анри Иванович (RU),
Кандиев Ядгар Закирович (RU),
Невзоров Владимир Александрович (RU),
Сапожникова Марина Борисовна (RU),
Щербина Александр Николаевич (RU),
Краев Василий Сергеевич (RU),
Давиденко Николай Никифорович (RU),
Лебедев Владимир Иванович (RU),
Шарый Олег Алексеевич (RU),
Шарыгин Леонид Михайлович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

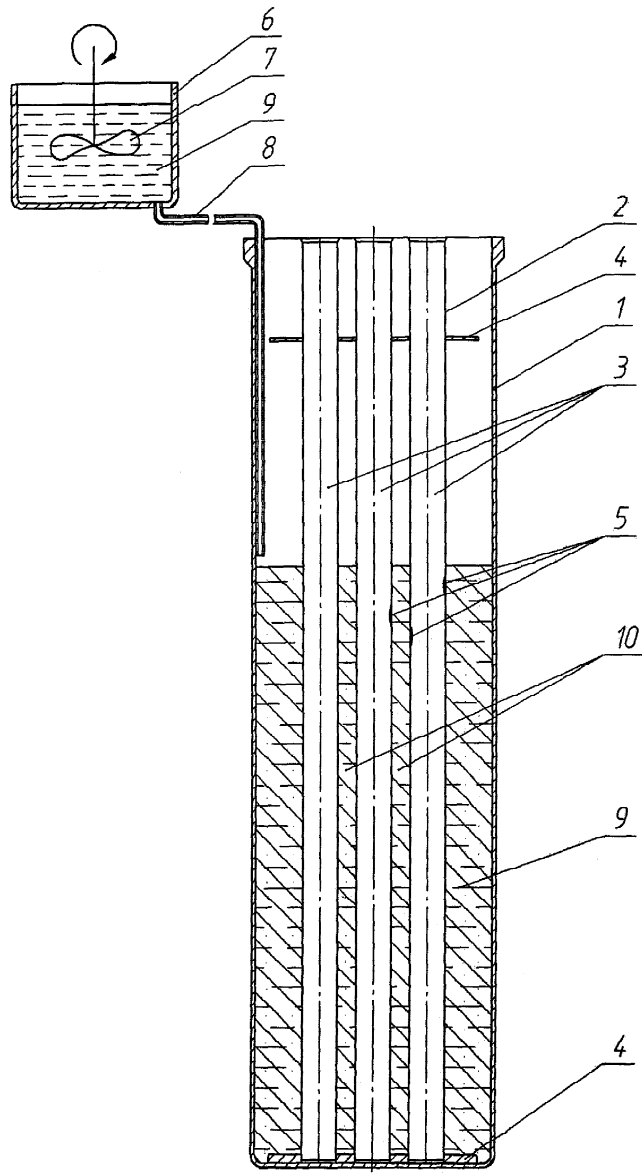
Открытое акционерное общество
"Российский концерн по производству
электрической и тепловой энергии на
атомных станциях" (ОАО "Концерн
Росэнергоатом") (RU),
Федеральное государственное унитарное
предприятие "Российский Федеральный
Ядерный Центр - Всероссийский научно-
исследовательский институт технической
физики имени академика Е.И. Забабахина"
(ФГУП "РФЯЦ - ВНИИТФ им. академ. Е.И.
Забабахина") (RU)

(54) СПОСОБ УПАКОВКИ ПОВРЕЖДЕННОГО ОТРАБОТАВШЕГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА

(57) Реферат:

Изобретение относится к ядерной технологии и может быть использовано для упаковки отработавшего ядерного топлива (ОЯТ). Способ упаковки поврежденного ОЯТ включает его загрузку в пенал из коррозионно-стойкого металла, прикрепление крышки к пеналу, заливку в пенал отвердевающего наполнителя, ожидание отвердевания. Заливают наполнитель в пенал порциями со скоростью, большей скорости отвердевания наполнителя, позволяют каждой порции наполнителя достигнуть свободной

горизонтальной поверхности в жидком состоянии, выдерживают временные паузы между заливками порций для выхода из наполнителя воздуха и воды, заполняют пенал наполнителем до уровня верхнего торца. Изобретение позволяет исключить возможность разгерметизации оболочек ОТВС, содержащих ОЯТ в процессе упаковки, уменьшить вероятность образования пустот в затвердевшем наполнителе, облегчить конструкции с упакованным ОЯТ. 7 з.п. ф-лы, 2 ил.



Фиг.1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2011101865/07, 19.01.2011

(24) Effective date for property rights:
19.01.2011

Priority:

(22) Date of filing: 19.01.2011

(45) Date of publication: 20.08.2012 Bull. 23

Mail address:

456770, Cheljabinskaja obl., g. Snezhinsk, ul.
Vasil'eva, 13, FGUP "RFJaTs - VNIITF im.
akadem. E.I. Zababakhina", otdel intellektual'noj
sobstvennosti, G.V. Bakalovu, a/ja 245

(72) Inventor(s):

Gorin Nikolaj Vladimirovich (RU),
Vorob'ev Anri Ivanovich (RU),
Kandiev Jadgar Zakirovich (RU),
Nevzorov Vladimir Aleksandrovich (RU),
Sapozhnikova Marina Borisovna (RU),
Shcherbina Aleksandr Nikolaevich (RU),
Kraev Vasilij Sergeevich (RU),
Davidenko Nikolaj Nikiforovich (RU),
Lebedev Vladimir Ivanovich (RU),
Sharyj Oleg Alekseevich (RU),
Sharygin Leonid Mikhajlovich (RU)

(73) Proprietor(s):

Otkrytoe aktsionernoe obshchestvo "Rossijskij
kontsern po proizvodstvu ehlektricheskoy i
teplovoj ehnergii na atomnykh stantsijakh" (OAO
"Kontsern Rosehnergoatom") (RU),
Federal'noe gosudarstvennoe unitarnoe
predpriyatie "Rossijskij Federal'nyj Jadernyj
Tsentr - Vserossijskij nauchno-issledovatel'skij
institut tekhnicheskoy fiziki imeni akademika
E.I.Zababakhina" (FGUP "RFJaTs - VNIITF im.
akadem. E.I. Zababakhina") (RU)

(54) **METHOD OF DAMAGED DEAD NUCLEAR FUEL**

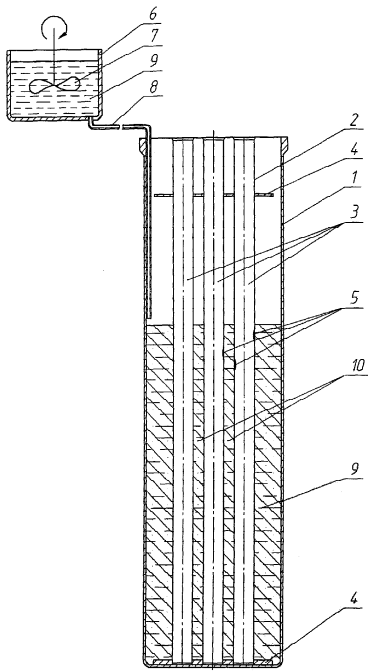
(57) Abstract:

FIELD: power engineering.

SUBSTANCE: proposed method comprises loading spent fuel into rustproof canister, attaching cover to canister, feeding setting filler therein and waiting for setting. Filler is fed into canister at the rate exceeding filler setting rate to allow every portion of filler to reach free horizontal surface in liquid state and maintain time intervals between filler feeds so that air and water escape from filler. Canister is filled with filler to top edge level.

EFFECT: ruled out depressurisation, simplified design.

8 cl, 2 dwg



Фиг.1

RU 2 4 5 9 2 9 4 C 1

RU 2 4 5 9 2 9 4 C 1

Изобретение относится к ядерной технологии и может быть использовано для упаковки отработавшего ядерного топлива (ОЯТ).

Предшествующий уровень техники

5 После завершения технологического цикла ОЯТ, содержащееся в отработавших тепловыделяющих сборках (ОТВС), извлекают из активной зоны реактора, погружают в бассейн выдержки, охлаждают в воде до тех пор, пока величина остаточного энерговыделения не понизится до допустимого уровня. Затем ОТВС извлекают из бассейна, осушают, помещают несколько ОТВС в специальную
10 конструкцию, фиксирующую их взаимное расположение, и загружают ее в транспортный упаковочный контейнер (ТУК), а затем везут либо на переработку, либо для долгосрочного сухого хранения. При этом обеспечивают безопасность транспортировки и хранения - требуемый уровень биологической защиты, ядерную и радиационную безопасность, прочность и герметичность конструкции.

15 Известен способ упаковки содержащих ОЯТ кассет или ОТВС [Second interim assessment of the Canad. concept for Nucl. fuel waste disposal, AECL-8373-2, 1984., International Symposium on Spent Fuel Storage Safety Engineering and Environmental Aspects. Velyukhanov V.P., Ioltukhovskiy A.G., Polykov A.C. and others. Concept of long-term safe storage of RBMK Leaky Spent Fuel in Metal Matrix. Vienna, 10-14 October, 1994]. Способ заключается в
20 размещении ОТВС с помощью дистанционирующих элементов в тонкостенном пенале из коррозионно-стойкого металла, приварке к пеналу верхней крышки с отверстиями для заливки расплавленного металла и вентиляции, разогреве пенала с ОТВС, заливке в пенал через верхнее отверстие расплавленного свинца или легкоплавкого сплава на основе свинца, проведении отверждения расплава в пенале, заварке отверстий в
25 верхней крышке и проведении операции текущего и окончательного контроля герметичности пенала с ОТВС. Способ является надежным для длительного хранения ОЯТ за счет создания дополнительного технического барьера безопасности между
30 ОЯТ и окружающей средой, обеспечения удержания радиоактивных продуктов внутри пенала. Ослабляется излучение от ОЯТ, повышается эффективность охлаждения ОЯТ, появляется возможность использовать способ не только для длительного хранения, но и для транспортировки ОЯТ. Под техническим барьером безопасности в рамках настоящей заявки понимаем такую конструкцию, обеспечивающую
35 безопасность, которая не может измениться самопроизвольно или случайно в результате ошибочных действий персонала. Она может быть изменена или разрушена только либо в результате целенаправленных противоправных действий, либо под длительным (не менее нескольких лет) воздействием окружающей среды, либо при
40 возникновении аварийных ситуаций.

Недостатками способа являются высокая вероятность разгерметизации оболочек ОТВС при нагреве их в процессе заливки расплавом или в процессе подготовки к заливке и выхода значительного количества радиоактивных газов в систему газоочистки или в окружающую среду, а также многостадийность и сложность
45 проведения процесса заливки пенала.

В качестве прототипа был выбран способ упаковки отработавшего ядерного топлива [Патент РФ №2109355, кл. G21F 5/005, от 26.04.96, опубл. 20.04.98, авторы Иолтуховский А.Г., Велюханов В.П., Андрианов А.Н., Поляков А.С., Тебус В.Н., Братин Г.П., Форстман В.А.]. Это способ включает в себя загрузку ОЯТ,
50 содержащегося в ОТВС с помощью дистанционирующих элементов в пенал из коррозионно-стойкого металла, заливку ОЯТ расплавленным легкоплавким металлом и проведение отверждения расплава. Загрузку ОЯ, осуществляют с заполнением

большей части свободного пространства в пенале массивными элементами из легкоплавкого металла, а заливку ОЯТ осуществляют при расплавлении этих элементов непосредственно в пенале. При использовании дополнительного элемента, размещенного в нижней части пенала и выполненного из более легкоплавкого, чем
5 основные блоки материала, возникает возможность существенно снизить температуру заливки ОЯТ и за счет этого уменьшить по сравнению с вышеприведенным аналогом раскрытие поврежденных оболочек и выход радиоактивных веществ за пределы ОТВС и в объем пенала.

10 Однако, несмотря на это, существенно снизить температуру заливки ОЯТ данным способом не удастся. Температура плавления только легкоплавких вставок в пенале +123,5°C, а нагревать пенал с загруженным ОЯТ предполагается в печи до температуры +350°C. Для поврежденных ОТВС, содержащих ОЯТ, такое нагревание очень опасно. Оно влечет за собой дополнительные нагрузки на ОТВС и может их
15 разрушить. Недостатком можно считать и слишком большой общий вес, получаемый при упаковке отработавшего топлива. Образуется конструкция, в которой все пустоты заполнены свинцом без нейтронно-поглощающих материалов. При использовании такого способа упаковки топлива Белоярской АЭС потребуются
20 около 2 м³ свинца для упаковки одного чехла в пенал и в результате вес одного пенала может достигнуть 30 т, тогда как грузоподъемность кранового оборудования ограничена величиной 15 т.

Кроме того, свинец и сплавы с низкой температурой плавления достаточно
25 дорогостоящие материалы.

Раскрытие изобретения

Задачей заявляемого технического решения является создание безопасного, надежного и экономичного способа упаковки поврежденного ОЯТ, долгое время находившегося в воде и содержащего в своей конструкции воду.

30 Технический результат заключается в исключении разгерметизации оболочек ОТВС, содержащих ОЯТ в процессе упаковки, уменьшении вероятности образования пустот в затвердевшем наполнителе, использовании низкотемпературного и более дешевого материала в качестве наполнителя, экономии тепловой энергии, придании
35 нейтронно-поглощающих свойств наполнителю, облегчении конструкции с упакованным ОЯТ.

Этот результат достигается тем, что в способе упаковки поврежденного отработавшего ядерного топлива, включающем его загрузку в пенал из коррозионно-стойкого металла, прикрепление крышки к пеналу, заливку в пенал наполнителя,
40 ожидание отвердевания, согласно изобретению заливают наполнитель в пенал порциями со скоростью, большей скорости отвердевания наполнителя, позволяют каждой порции наполнителя достигнуть свободной горизонтальной поверхности в жидком состоянии, выдерживают временные паузы между заливками порций для выхода из наполнителя воздуха и воды, заполняют пенал наполнителем до уровня
45 верхнего торца.

В наиболее технологичном варианте прикрепляют крышку к пеналу после отвердевания наполнителя.

В одном из вариантов выполнения заливают наполнитель в полость пенала через
50 верхний край торца пенала.

В другом варианте выполнения заливают наполнитель " через трубу, опущенную в полость пенала. В этом случае нижний конец трубы размещают над предполагаемым уровнем поверхности ожидаемой порции наполнителя.

В качестве наполнителя можно применять органическую полимерную композицию, например, фурфурол, атомик, эпоксидную смолу.

В качестве наполнителя можно применять неорганическую цементную композицию, например, кофон, фосфатные строительные цементы. В качестве фосфатного цемента могут быть использованы цинкофосфатная и магнийфосфатная композиции. В качестве строительного цемента портландцемент.

Для придания наполнителю нейтронно-поглощающих свойств в него добавляют нейтронно-поглощающий материал и перемешивают до получения однородной массы.

Рассматривая более подробно решаемую задачу, можно увидеть следующее. При обращении с ОЯТ должны существовать технические барьеры безопасности, исключая ситуации, опасные с точки зрения ядерной и радиационной безопасности. Количество таких барьеров задается в техническом задании на транспортировку ОЯТ и его хранение. Исходя из принятого в технике принципа дублирования, можно полагать, что двух барьеров безопасности для поврежденных ОТВС должно быть достаточно. У неповрежденных ОТВС таких барьеров безопасности больше. У поврежденных ОТВС должен остаться хотя бы один барьер безопасности для того, что бы можно было добавить к нему еще один в виде наполнителя пенала и транспортировать ОЯТ.

Чехол - один из барьеров безопасности в виде жесткой и прочной конструкции из стальных чехловых труб, в каждой из которых размещена одна ОТВС с ОЯТ. Взаимное расположение чехловых труб фиксировано с помощью нескольких стальных досок-сепараторов. Чехол является барьером безопасности лишь до тех пор, пока механическая прочность труб и досок-сепараторов обеспечивают неизменность конфигурации труб с ОТВС при нормальных и аварийных условиях эксплуатации, а целые чехловые трубы предотвращают попадание внутрь воды и выход наружу продуктов деления и делящегося материала. Однако в результате многолетнего нахождения в воде из-за коррозии чехол не только теряет механическую прочность, но и проржавевшие чехловые трубы пропускают воду, в результате чего имеет место непосредственный контакт ОЯТ с водой. Одновременно сквозь проржавевшие трубы в межтрубное пространство может проникать делящийся материал и радиоактивные продукты деления.

Каждый чехол сразу после изготовления имеет технические барьеры безопасности для сохранения прочности и защиты от проникновения внутрь чехловых труб воды. Это слои краски на внешних и внутренних поверхностях чехловых труб, толщину стенки чехловой трубы в 3 мм. В настоящее время нет строгих методик для расчета времени и степени повреждения этих барьеров, но по приблизительным оценкам все они должны иметь повреждения различной степени за 17 лет хранения. Большая неопределенность связана с оценкой времени коррозии чехловых труб под воздействием радиации, она оценивается по разным методам приблизительно не менее чем 15 лет. При обосновании безопасности следует пользоваться консервативными допущениями и считать, что все чехловые трубы заполнены водой, и она контактирует с ОЯТ. Из-за длительного срока хранения в воде и коррозии, скорее всего, потеряна прочность чехла, обеспечивающая неизменность взаиморасположения ОТВС. Извлечь ОЯТ из чехловых труб и перегрузить их в новые чехлы в настоящее время невозможно.

При упаковке ОЯТ, долгое время находившегося в воде, возникает вероятность попадания воды через образовавшиеся коррозионные отверстия внутрь чехловых труб, в которых хранится ОЯТ. Высушивание поднятых со дна бассейна чехлов - операция долговременная и дорогостоящая, связанная с выходом значительного

количества радиоактивных газов в систему газоочистки или в окружающую среду. Кроме этого после высушивания остается вероятность присутствия оставшейся воды, не высохшей через коррозионные отверстия, по крайней мере в настоящее время невозможно доказать ее отсутствие. При заполнении пенала с расположенным в нем недосушенным чехлом, расплавленным металлом образуются пары воды, которые способны разорвать изнутри чехловые трубы, то есть разгерметизировать оболочки ОТВС, содержащие ОЯТ. Чтобы исключить этот паровой взрыв необходимо подобрать наполнитель, имеющий температуру в жидком состоянии ниже температуры кипения воды, который без дополнительного нагревания или охлаждения мог бы перейти в твердое состояние. Такой наполнитель органического происхождения известен (Патент РФ №2251561. Полимерная композиция для изолирования твердых радиоактивных отходов, от 31.10.2003, класс МКИ: N: C08L - 63/02, G21F - 9/28, авторы: Булкин С.Ю., Соколов А.В., Александров В.П., заявитель: Федеральное Государственное Унитарное Предприятие "Научно-исследовательский и конструкторский Институт Энерготехники им. Н.А.Доллежала"). При его подготовке смешиваются известные компоненты, идет реакция с выделением тепла. Отслеживая допустимый рост температуры не выше +100°C, добавляют составляющие наполнителя. Окончательное перемешивание до образования гомогенного раствора понижает конечную температуру наполнителя до температуры самого заливаемого чехла с ОТВС. Заливка наполнителем, имеющим температуру, сопоставимую с температурой ОЯТ, исключает термический взрыв. При заливке пенала с поврежденным и недосушенным чехлом, часть воды, оставшаяся в чехле после поднятия из бассейна выдержки, будет вытеснена наполнителем, имеющим плотность больше единицы, а часть воды будет поглощена наполнителем и связана при его затвердевании.

Таким образом, при использовании предлагаемого способа исключается необходимость высушивания поврежденного чехла с ОЯТ, долгое время хранившегося в бассейне выдержки. При этом исключаются выбросы в систему очистки радиоактивных аэрозолей. Поврежденные чехлы, содержащие воду, заливаются наполнителем с температурой, близкой собственной температуре ОЯТ, что исключает возможность парового взрыва и разгерметизацию оболочек ОТВС, содержащих ОЯТ. Как следствие, из вышеизложенного вытекает повышение безопасности предлагаемого способа упаковки поврежденного ОЯТ.

В технологии заливки ОЯТ расплавленными металлами принимаются дополнительные меры для ликвидации пустот в массе затвердевшего наполнителя. Для этого поддерживаются высокие температуры в процессе заливки, используются легкоплавкие вставки в пенале. Надежность отсутствия пустот напрямую зависит от поддержания довольно жесткого температурного режима и чистоты используемых материалов. В предлагаемом способе заливают наполнитель в пенал со скоростью, большей скорости затвердевания наполнителя. Скорость выхода из наполнителя воздуха и воды намного превышает скорость затвердевания наполнителя. За то время, пока наполнитель затвердевает, воздух, случайно попавший в состав наполнителя, самостоятельно выходит из него, а вода частично вытесняется наполнителем большей плотности, а частично вступает в реакцию с наполнителем и связывается им. Температура, при которой происходит наполнение пенала с ОТВС, близка к температуре самой ОТВС и поэтому нет необходимости принудительно поддерживать ее. Все это повышает надежность способа наполнением пенала с ОТВС без полостей, содержащих воздух или воду.

В прототипе для герметизации пенала после отвердевания наполнителя проводят разгерметизацию газовой полости, образовавшейся в пенале, заполнение ее расплавленным свинцом или легкоплавким металлом, с последующей герметизацией пенала. Это влечет за собой выход радиоактивных газов или установку в верхней части пенала геттера для поглощения газов. В предлагаемом изобретении герметизацию пенала производить нет необходимости. После заливки и окончательного отвердевания наполнителя, залитого до верхнего уровня пенала, присоединяют крышку к верхнему торцу пенала. Так как в пенале происходит радиолит воды под действием радиации с образованием водорода, то отсутствие герметизации обеспечивает выход образуемого водорода в атмосферу. А радиоактивные аэрозоли в предлагаемом способе не образуются. За счет этого повышается надежность пенала с ОТВС после его заливки наполнителем.

В прототипе для предотвращения образования пустот в наполнителе необходимо точно придерживаться чистоты материала, режима и температуры заливки. Малейшие отклонения ведут к образованию воздушных полостей в наполнителе. Общее количество урана в чехлах много больше минимальной критической массы уран-водяной смеси, и если допустить выход топлива из нескольких чехловых труб и его объединение в предполагаемой воздушной полости, то возможно возникновение ядерно-опасной ситуации. При заполнении пенала с загруженным в него чехлом предлагаемым способом гарантированно отсутствие воздушно-водяных полостей в наполнителе. За счет этого повышается надежность упаковки поврежденного ОЯТ.

Свинец и сплавы с низкой температурой плавления - достаточно дорогостоящие материалы. Цена свинца в настоящее время у разных производителей составляет 300 ÷ 600 руб/л (Internet, <http://www.bankinfo.kz/rus/news>). Тогда как рассматриваемые известные органические материалы-наполнители имеют цену 60÷120 руб/л. Экономия на 1 чехол может достигать порядка 0,5 млн рублей и для большого объема перевозимого отработавшего ядерного топлива (около 150 чехлов) вопрос стоимости становится достаточно важным. Кроме того, в прототипе необходимо дополнительно разогревать пенал с ОЯТ и наполнитель до достаточно высоких температур, что влечет дополнительные расходы на нагрев и использование жаропрочного оборудования. Экономичность предлагаемого способа объясняется дешевизной используемого материала и отказом от дополнительного нагрева, так как наполнитель при приготовлении саморазогревается до оптимальной температуры, близкой к температуре упаковываемого ОЯТ.

Следует добавить, что для погрузочных работ и транспортировки пеналов с ОЯТ экономичнее, если они будут весить меньше. При использовании способа упаковки, описанного в прототипе, для топлива Белоярской АЭС потребуется приблизительно $2,5 \text{ м}^3$ свинца на один пенал и в результате масса одного пенала составит больше 30 т, тогда как грузоподъемность кранового оборудования ограничена величиной 15 т. По сравнению со свинцом плотность наполнителя в рассматриваемом способе примерно в 10 раз меньше, а значит, при заполнении одного и того же объема он будет легче. При транспортировке не понадобятся дополнительные погрузочно-разгрузочные устройства, что повлечет экономию средств.

Высокая плотность свинца ($11,34 \text{ г/см}^3$) не позволяет вводить в него добавки бора (как нейтронно-поглощающего материала), так как из-за своей малой плотности порядка $(1,1\div 1,2) \text{ г/см}^3$ бор или его соединения могут всплывать в расплаве свинца и его распределение может стать неравномерным. Тогда как в заявляемом способе бор

при необходимости можно размещать в материале-наполнителе до получения однородной массы, потому что плотности бора и наполнителя в предлагаемом способе соизмеримы.

Краткое описание фигур

5 На фиг.1 представлена установка для упаковки поврежденного ОЯТ при подаче наполнителя по трубопроводу, опущенному в пенал до уровня предполагаемого наполнения пенала.

10 На фиг.2 представлена установка для упаковки поврежденного ОЯТ при подаче наполнителя по трубопроводу через верхний край торца пенала.

Варианты осуществления изобретения

15 Как показано на фиг.1, установка для осуществления способа представляет собой пенал 1 с чехлом 2, состоящим из набора чехловых труб 3, взаиморасположение которых в чехле 2 обеспечивается досками-сепараторами 4. В трубах 3 имеются сквозные коррозионные отверстия 5. Чехол 2 устанавливается в вертикально стоящий пенал 1. На безопасном расстоянии от пенала 1 в защищенном от радиации помещении смонтирован смеситель 6 с мешалкой 7, соединенный с пеналом 1 трубопроводом 8. В смесителе 6 приготавливается наполнитель 9. Трубопровод 8 опускается в полость пенала 1 через верхний край торца пенала 1.

20 Наполнитель 9 готовится непосредственно перед заливкой в пенал 1 следующим образом. В смеситель 6, расположенный в защищенном помещении, заливается расчетное количество связующего, затем при включенной мешалке 7 малыми порциями в определенном порядке засыпают известные компоненты наполнителя 9. При необходимости дополнительной защиты от нейтронного излучения в состав наполнителя 9 вводят борсодержащие компоненты. При смешивании наполнитель 9 саморазогревается до температуры приблизительно +60°C. В связи с этим по смонтированным датчикам (на чертеже не показано) следят, чтобы при засыпке не было резкого роста температуры наполнителя 9. Одновременно контролируют, чтобы не было комков в наполнителе 9. Размешивание производят до стадии гомогенного раствора. Время приготовления наполнителя приблизительно 10 минут.

30 Подготовленный наполнитель 9 по трубопроводу 8 подают в свободный объем пенала 1 при работающей мешалке 9. За заливкой следят с помощью дистанционной телевизионной системы (на чертеже не показано). К моменту заливки чехловые трубы 3 разогреваются за счет остаточного энерговыделения в ОЯТ примерно до температуры наполнителя 9 и при их контакте перегрева оставшейся в чехловых трубах 3 воды и выделения аэрозолей не происходит. Первый этап заливки заканчивается после опорожнения смесителя 6. После этого в смесителе 6 приготавливается вторая порция наполнителя 9.

45 В одном из вариантов выполнения способа, как показано на фиг.1, при заливке наполнителя 9 в пенал опускают подающую наполнитель трубу 8, через верхний торец пенала 1 до уровня предполагаемого наполнения первой порцией наполнителя в пенале. Затем подают наполнитель 9 по трубе 8 внутрь пенала 1. После этого выдерживают временную паузу для вытеснения наружу из наполнителя 9 воздуха и воды. За это время в смесителе 6 подготавливают очередную порцию наполнителя. Поднимают трубу 8 до предполагаемого следующего уровня наполнения пенала 1 второй порцией наполнителя 9, повторяют все перечисленные операции до достижения наполнителем 9 уровня верхнего торца пенала 1. После этого трубу 8 удаляют из пенала 1.

50 Наполнитель 9 подают в пенал 1 со скоростью, достаточной для того, чтобы

наполнитель 9 достигал свободной горизонтальной поверхности, оставаясь жидким. Жидкий наполнитель 9, достигнув дна пенала 1, растекается, занимая межтрубное пространство 10 и пространство между чехлом 2 и пеналом 1. При помещении неосушенного чехла 2 в пенал 1 возможно образование на дне пенала 1 небольшого количества воды, вытекающей из чехловых труб 3 через коррозионные отверстия 5. Принимая во внимание, что плотность Фурфурола равна $1,2 \div 2 \text{ г/см}^3$, Кофона 2 г/см^3 , все они способны вытеснять воду. Кроме того, перечисленные материалы наполнителя 9 в жидком состоянии способны поглощать небольшое количество воды, встраивая ее в свою структуру. Если в процессе заполнения пенала 1 в наполнитель 9 попадет воздух в виде пузырьков, то из-за малой вязкости и достаточно большой плотности раствора наполнителя 9, он так же будет вытеснен из него за то время, пока готовится в смесителе 6 очередная порция жидкого наполнителя 9. Жидкий наполнитель 9, оказываясь в пенале 1, контактирует с поверхностью чехлов 3, имеющих коррозионные повреждения в виде отверстий 5, в которые попала вода за время хранения их в бассейне выдержки. Встречая на своем пути такие отверстия 5, жидкий наполнитель 9 частично вытесняет воду, занимая в отверстиях 5 ее место, частично поглощает ее. Оставшаяся небольшая часть воды замуровывается внутри чехловой трубы 3 затвердевающим в отверстиях 5 наполнителем 9 и не представляет в дальнейшем опасности. Вода, контактируя внутри чехловой трубы 3 с ОЯТ, может продолжать разрушать его, но ОЯТ, лишенное возможности выходить в межтрубное пространство 10, не может образовать ядерно-опасную конфигурацию и объем.

Во втором варианте выполнения способа, как показано на фиг.2, производят заливку наполнителя 9 через край верхнего торца пенала 1. При этом организуют дистанционно управляемый подъезд смесителя 6 с наполнителем 9 внутри к верхнему торцу пенала 1. Наклоняют смеситель 6 и через край переливают его содержимое внутрь пенала 1. Затем выдерживают временную паузу для вытеснения наружу из наполнителя 9 воздуха и воды. В это время смеситель 6 отъезжает от пенала 1 к месту приготовления наполнителя 9, где происходит смешивание компонентов наполнителя 9. По окончании временной паузы и при готовности наполнителя 9 повторяют все перечисленные операции до достижения наполнителем 9 уровня верхнего торца пенала 1.

Наполнитель 9 подается в пенал 1 порциями. За время подготовки очередной порции наполнителя воздух и вода успевают выйти из наполнителя 9 или поглотиться им. Заливку прекращают при заполнении пенала 1 до верхнего уровня последней порцией наполнителя 9 и опорожнении смесителя 6. Полное затвердевание наполнителя 9 в пенале 1 происходит спустя примерно 8 часов после заливки в пенал 1 последней порции наполнителя 9. После этого пенал 1 с затвердевшим наполнителем 9 укупоривают крышкой (на чертеже не показано). Герметизация при использовании предлагаемого способа не нужна, так как при его использовании не образуются радиоактивные аэрозоли. ОЯТ получает дополнительный технический барьер безопасности в виде затвердевшего наполнителя 9 между чехлом 2 и стенками пенала 1. А негерметично закрытая крышка дает возможность выходить водороду, который образуется в пенале 1 с наполнителем 9 и чехлом 2.

Промышленная применимость

Изобретение относится к ядерной технологии и может быть использовано для упаковки поврежденного ОЯТ. Использование предлагаемого технического решения оправдано в случае работы с поврежденными ОТВС и проржавевшими чехловыми трубами, когда на первое место выходит более жесткое требование - обоснование

5 ядерной безопасности и исключение образования пустот, где может образоваться
ядерно-опасная конфигурация. При использовании изобретения исключается
разгерметизация оболочек ОТВС, содержащих ОЯТ в процессе упаковки, исключается
вероятность образования пустот в затвердевшем наполнителе, используются более
10 дешевые материалы в качестве наполнителей, экономится тепловая энергия,
наполнителю придаются нейтронно-поглощающие свойства. Конструкция с
упакованным предлагаемым способом ОЯТ становится легче, чем в прототипе. Из
приведенных вариантов выполнения способа вытекает реальность его применения в
промышленности.

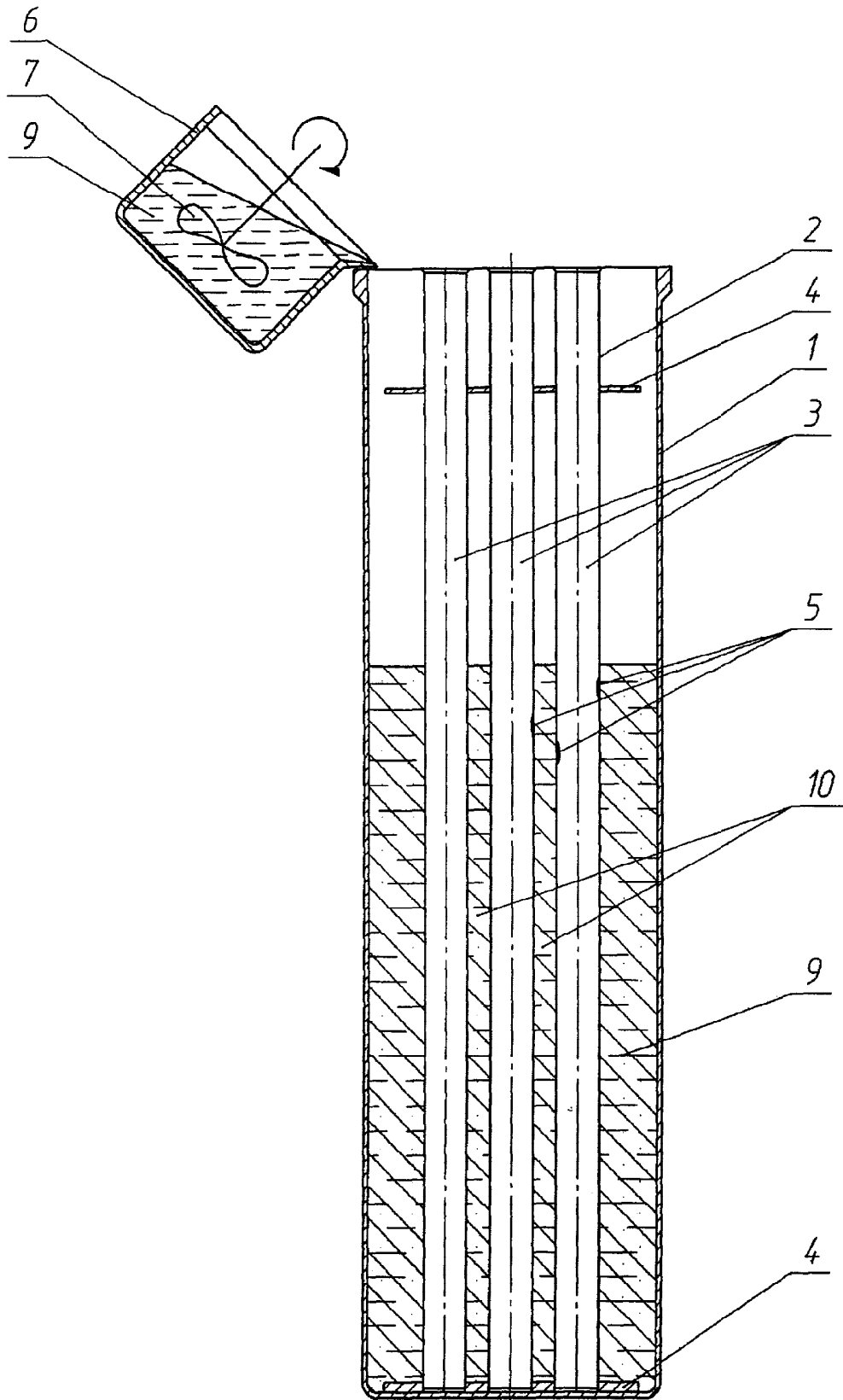
Формула изобретения

1. Способ упаковки поврежденного отработавшего ядерного топлива,
15 включающий его загрузку в пенал из коррозионно-стойкого металла, прикрепление
крышки к пеналу, заливку в пенал отвердевающего наполнителя, ожидание
отвердевания, отличающийся тем, что заливают наполнитель в пенал порциями со
скоростью, большей скорости отвердевания наполнителя, позволяют каждой порции
наполнителя достигнуть свободной горизонтальной поверхности в жидком состоянии,
20 выдерживают временные паузы между заливками порций для выхода из наполнителя
воздуха и воды, заполняют пенал наполнителем до уровня верхнего торца.
2. Способ по п.1, отличающийся тем, что крышку к пеналу прикрепляют после
отвердевания наполнителя.
3. Способ по п.1, отличающийся тем, что заливают наполнитель в полость пенала
25 через верхний край торца пенала.
4. Способ по п.1, отличающийся тем, что заливают наполнитель через трубу,
опущенную в полость пенала.
5. Способ по п.3, отличающийся тем, что нижний конец трубы размещают над
30 предполагаемым уровнем поверхности ожидаемой порции наполнителя.
6. Способ по п.1, отличающийся тем, что в качестве наполнителя применяют
органическую полимерную композицию.
7. Способ по п.1, отличающийся тем, что в качестве наполнителя применяют Кофон.
8. Способ по п.1, отличающийся тем, что в наполнитель добавляют нейтронно-
35 поглощающий материал и перемешивают до получения однородной массы.

40

45

50



Фиг.2