

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБЪЕКТОВ
АТОМНОЙ ОТРАСЛИ
OPERATION OF FACILITIES
NUCLEAR INDUSTRY

<https://doi.org/10.26583/gns-2025-02-08>

EDN RLCJZU

Оригинальная статья / Original paper



Герметизация кровель хранилищ радиоактивных отходов и других радиационно-опасных объектов с применением полимерных композиций

В.П. Поваров¹ , В.С. Росновский¹ , А.В. Дорошенко¹, Д.В. Чернышов¹,
С.В. Росновский¹, В.И. Заболотный², И.В. Заболотный², Д.Х. Кулев²

¹ Нововоронежская АЭС – филиал АО «Концерн Росэнергоатом», г. Нововоронеж, Воронежская область,
Российская Федерация

² ООО «АЭРЦ», г. Москва, Российская Федерация

RosnovskySV@nvnpp1.rosenergoatom.ru

Аннотация. В статье рассмотрен вопрос применения защитных полимерных покрытий (ЗПП) для долговременной защиты различных поверхностей от радиоактивных загрязнений на АЭС и других радиационно-опасных объектах. Проведен анализ нормативных документов, регламентирующих порядок подтверждения вновь разработанных технологий требованиям безопасности в области использования атомной энергии. Показана недостаточность имеющихся решений и недостаточная эффективность использования полимерных композиций, негативно влияющие на возможность их применения для герметизации кровель хранилищ радиоактивных отходов приповерхностного типа. Разработана и прошла опробование в условиях приповерхностных хранилищ твердых радиоактивных отходов Нововоронежской АЭС оригинальная технология герметизации кровли хранилища и рецептура приготовления защитной полимерной композиции. Способ герметизации кровель хранилищ радиоактивных отходов и других радиационно-опасных объектов включает в себя: предварительную обработку герметизируемой поверхности, путем нанесения двух защитных слоев различного состава (первый слой – грунтовочный-изолирующий, на основе водно-дисперсионной краски с локализующими добавками, второй слой – легкодезактивируемый, на основе нитро-эпоксидной эмали); покрытие поверхности защитной герметизирующей композицией ЭГАиБ. Для нанесения и формирования первого подготовительного слоя используется состав на основе водно-дисперсионной краски с добавками – карбоновой кислоты и пиперазина. Для формирования второго слоя предварительной подготовки используется нитроэпоксидная эмаль типа ЭП-51. Герметизирующая композиция ЭГАиБ на основе смолы эпоксидиановой типа ВД ЭПЭП-72, используется для формирования основного защитного слоя, модификатором служит глицидиновый эфир полиатомных спиртов; в качестве антипарена – хлорпарафин ХП-110; отвердителя – третичный аминофенол; в качестве растворителя применяется ацетон по ГОСТ 2768-84. Результаты испытаний подтвердили высокие эксплуатационные характеристики и перспективность дальнейших исследований в данном направлении. По результатам испытаний и проверки эксплуатационных и технологических свойств композиционных материалов (на основе ПВБ, эпоксидных смол) было установлено, что полимерные композиции на основе поливинилбутираля и эпоксидных с определенными добавками с заданными свойствами смол могут быть рекомендованы к применению на кровлях с бетонно-асфальтными покрытиями приповерхностных ХТРО.

Ключевые слова: защитные полимерные покрытия, хранилище, радиоактивные отходы, поливинилбутираль, герметизация, кровля.

Для цитирования: Поваров В.П., Росновский В.С., Дорошенко А.В., Чернышов Д.В., Росновский С.В., Заболотный В.И., Заболотный И.В., Кулев Д.Х. Герметизация кровель хранилищ радиоактивных отходов и других радиационно-опасных объектов с применением полимерных композиций. Глобальная ядерная безопасность. 2025;15(2):76–86. <https://doi.org/10.26583/gns-2025-02-08>

For citation: Povarov V.P., Rosnovsky V.S., Doroshenko A.V., Chernishev D.V., Rosnovsky S.V., Zabolotniy V.I., Zabolotniy I.V., Kulev D.X. Sealing roofs of radioactive waste storage facilities and other radiation-hazardous facilities using polymer compositions. Nuclear Safety. 2025;15(2):76–86. (In Russ.). <https://doi.org/10.26583/gns-2025-02-08>

Sealing roofs of radioactive waste storage facilities and other radiation-hazardous facilities using polymer compositions

Vladimir P. Povarov¹ , Viktor S. Rosnovsky¹ , Alexander V. Doroshenko¹,
Denis V. Chernishev¹, Sergey V. Rosnovsky¹, Valery I. Zabolotniy²,
Ivan V. Zabolotniy², Dmitry X. Kulev²

¹ Novovoronezh Nuclear Power Plant – a branch of Rosenergoatom Concern JSC,
Novovoronezh, Voronezh region, Russian Federation

² LLC «AERC», Moscow, Russian Federation
 RosnovskySV@vnpp1.rosenergoatom.ru

Abstract. The article considers the issue of the use of protective polymer coatings for the long-term protection of various surfaces from radioactive contamination at nuclear power plants and other radiation-hazardous facilities. The analysis of regulatory documents regulating the procedure to confirm newly developed technologies to safety requirements in the field of atomic energy use has been carried out. The paper shows the insufficiency of available solutions and the disadvantages of known polymer compositions, which negatively affect the possibility of their use of sealing roofs of near-surface radioactive waste storage facilities. An original technology of sealing the roof of the storage facility and a recipe to prepare a protective polymer composition has been developed and tested in the conditions of near-surface storage facilities for solid radioactive waste at the Novovoronezh NPP. The method of sealing the roofs of radioactive waste storage facilities and other radiation-hazardous facilities includes: pretreatment of the sealed surface by applying two protective layers of different compositions (the first layer is a primer-insulating, based on water-dispersion paint with localizing additives, the second layer is easily deactivated, based on nitro-epoxy enamel); coating the surface with a protective sealing composition EGAiB. To apply and form the first preparatory layer, a composition based on a water-dispersion paint with additives of carboxylic acid and piperazine is used. To form the second pretreatment layer, EP-51 type nitroepoxide enamel is used. EGAiB sealing composition based on epoxy resin of the VD EPEP-72 type, is used to form the main protective layer, glycidine ether of polyatomic alcohols serves as a modifier; paraffin chloride HP-110 is used as a flame retardant; tertiary aminophenol is used as a hardener; acetone is used as a solvent according to State Standard 2768-84. The test results confirmed high performance and the prospects for further research in this direction. Based on the results of tests and verification of the operational and technological properties of composite materials (based on PVB, epoxy resins), it was found that polymer compositions based on polyvinylbutyral and epoxy resins can be recommended for use on roofs with concrete-asphalt coatings of near-surface radwaste storages.

Keywords: protective polymer coatings, storage, radioactive waste, polyvinyl butyral, sealing, roofing.

Постановка задачи

В настоящее время в различных отраслях промышленности, в строительстве, ремонте и эксплуатации все более широкое применение находят многокомпонентные покрытия на основе полимерных композиций, химический состав которых зависит от условий и назначения их использования (наличия/отсутствия агрессивного воздействия окружающей среды и внешних природных факторов, различных техногенных нагрузок и т.д.). Применение защитных покрытий из полимерных материалов позволяет, например, предотвратить загрязнение полов и стен промышленных помещений различными контаминаторами (горюче-смазочными материалами, маслами различного происхождения и т.д.); обеспечивает проведение быстрого и качественного устранения дефектов кровельных покрытий; обеспечивает

быстрый ремонт бытовых резинотехнических изделий и т.д. К основным направлениям применения полимерных композиций в промышленности относятся:

- предотвращение контакта бетонных перекрытий и асфальтированных покрытий с атмосферными осадками и исключение попадания влаги внутрь объектов капитального строительства;
- устранение дефектов кровель, возникающих при эксплуатации объектов, с целью предотвращения попадания атмосферных осадков;
- долговременная защита бетонных поверхностей внутренних помещений, с целью повышения эксплуатационных характеристик, снижения сорбционной способности бетонных поверхностей по отношению к загрязнениям различного происхождения и т.д.

Актуальной задачей является разработка полимерных композиций, обеспечивающих решение различных задач на этапах жизненного цикла атомной станций и других объектов использования атомной энергии (ОИАЭ), включая сооружение, эксплуатацию, ремонтные и аварийные работы, вывод из эксплуатации ОИАЭ. Наиболее перспективными, на наш взгляд, являются такие направления применения полимерных композиций на ОИАЭ:

- защитные полимерные покрытия (ЗПП), предотвращающие контакт различных поверхностей с радиоактивной средой;
- снимаемые полимерные покрытия (СПП), наносимые на поверхности для временной их изоляции (защиты) от воздействия р/а загрязнений, а также с целью дезактивации этих поверхностей.

При эксплуатации ОИАЭ объектами применения ЗПП, СПП являются поверхности, чрезвычайно разнообразные по своим свойствам (развитость, адгезионная способность, химическая стойкость и т.д.), в число которых могут входить:

- 1) почва (песок, суглинок, чернозем, почва);
- 2) бетон, асфальт, кирпич, мозаичная плитка;
- 3) поверхности со слоем продуктов нефтепереработки;
- 4) металлические поверхности с коррозионными образованиями (точечная, сплошная, пластичная).
- 5) поверхности защищенные активно сорбирующими лако-красочными покрытиями (масляные краски, грунты);
- 6) поверхности открытых и закрытых резервуаров и водоемов;
- 7) поверхности с высокими уровнями гамма-полей (до 0,05 Зв/ч).

Настоящая статья посвящена результатам разработки и апробации одного из вариантов ЗПП для поверхностей перекрытий приповерхностных хранилищ радиоактивных отходов ОИАЭ, успешно опробованного в условиях Нововоронежской АЭС.

Требования нормативных документов к применению полимерных покрытий на объектах использования атомной энергии

В соответствии с СанПин 2.6.1.24-03 «Санитарные правила проектирования и эксплуатации атомных станций» СП АС-03 «поверхности помещений и оборудования ЗКД должны быть защищены материалами, слабо сорбирующими радиоактивные вещества и легко поддающимися дезактивации... Для снижения облучаемости персонала в проектах и при эксплуатации АС необходимо предусматривать... проведение дезактивации наружных и внутренних поверхностей оборудования, контактирующих с радиоактивными средами¹. Одним из эффективных средств, позволяющих обеспечить как защиту поверхностей от радиоактивного загрязнения, так и его дезактивацию при возникновении такого загрязнения, являются полимерные покрытия (ПП) различного состава. Общие требования к полимерным покрытиям различного назначения, применяемым на АЭС, определяются Стандартом отрасли «Покрытия полимерные защитные для атомных станций. Часть 2. Покрытия полимерные защитные дезактивируемые и покрытия полимерные защитные радиационно-стойкие для специальной и противокоррозионной защиты. Общие требования, выбор и применение ОСТ 95 10590-2004². Согласно вышеуказанному документу, защитные полимерные покрытия, применяемые на АЭС, в зависимости от назначения подразделяются на следующие группы:

- изолирующие;
- локализующие;

¹ Санитарные правила проектирования и эксплуатации атомных станций. Санитарные правила и гигиенические нормативы. СанПиН 2.6.1.24-03 Режим доступа: <https://base.garant.ru/12130991/?ysclid=m9mn7iy2uh943244874> (дата обращения: 12.12.2024).

² Стандарт отрасли «Покрытия полимерные защитные для атомных станций. Часть 2. Покрытия полимерные защитные дезактивируемые и покрытия полимерные защитные радиационно-стойкие для специальной и противокоррозионной защиты. Общие требования, выбор и применение ОСТ 95 10590-2004. – Электронный фонд нормативно-технических документов. – Информационная компания «Кодекс». – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200068001?ysclid=m9mq2nhc2t745079001> (дата обращения: 12.12.2024).

- пылеподавляющие;
- аккумулирующие;
- дезактивирующие.

Следует отметить, что требования РД ЭО 1.1.2.28.0738-2007 не пересматривались более 15 лет и в настоящее время значительно устарели, что вызвано развитием химических технологий, появлением и внедрением новых полимерных материалов и т.д.

В соответствии с Общими положениями обеспечения безопасности атомных станций, «технические и организационные решения, принимаемые для обеспечения безопасности АС, должны быть апробированы прежним опытом, испытаниями, исследованиями, опытом эксплуатации аналогов и прототипов. Такой подход должен применяться не только при разработке оборудования и проектировании АС, но и при изготовлении оборудования, сооружении и эксплуатации АС, реконструкции АС и модернизации ее систем и элементов, а также при выводе АС из эксплуатации»³.

Таким образом, применение новых материалов и технологий при эксплуатации и ремонте ОИАЭ, включая внедрение вновь разработанных ЗПП, должно предваряться их комплексными испытаниями для подтверждения соответствия фактических и заявленных характеристик.

В соответствии с «Техническим решением № 68/2022-ЦОРО от 14.07.2022 г. о разработке технологии герметизации кровель хранилищ твердых радиоактивных отходов приповерхностного типа Нововоронежской АЭС», филиалом АО «Концерн Росэнергогатом» «Нововоронежская АЭС» совместно с АО «АЭРЦ» в 2023-2024 гг. были разработаны оригинальная технология герметизации кровель хранилищ радиоактивных отходов приповерхностного типа; рецептура приготовления защитной полимерной композиции, предназначеннной для долговременной

защиты бетонных поверхностей радиационно-опасных объектов, которые могут находиться в контакте с открытыми радиоактивными веществами.

В соответствии с разработанной технологией, покрытие предусматривается двухслойным:

- первый слой – локализующий или изолирующий, на основе воднодисперсной краски с локализирующими добавками;
- второй слой – дезактивируемый, на основе нитроэпоксидной эмали.

Испытания ЗПП проводились как лабораторно, так и в реальных условиях, и предусматривали проверку по следующим параметрам:

- дезактивируемость;
- физико-механические свойства;
- адгезионные характеристики;
- прочность на истирание и т.д.

Результаты испытаний подтвердили соответствие разработанного ЗПП предъявляемым требованиям (изолирующие/герметизирующие свойства, стойкость к воздействию внешних погодных факторов, стойкость к дезактивации, радиационная стойкость).

Недостатки известных полимерных композиций, влияющие на возможность их применения для герметизации кровель хранилищ радиоактивных отходов приповерхностного типа

Для временного хранения радиоактивно загрязненных материалов и отходов, в атомной отрасли (энергетической промышленности) широко применяются временные хранилища приповерхностного типа, представляющие собой емкости, расположенные вне зданий и сооружений, а также емкости, заглубленные в землю. Хранилища используются как промежуточные накопители неупакованных радиоактивных отходов перед отправкой на переработку, захоронение и/или кондиционирование. В качестве перекрытий таких временных хранилищ, применяют железобетонные и/или металлические конструкции, эксплуатируемые в условиях воздействия автотранспортных средств, истираемости, ударных нагрузок,

³ Общие положения обеспечения безопасности атомных станций НП-001-15. – Электронный фонд нормативно-технических документов. – Информационная компания «Кодекс». – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/420329007?ysclid=m9myjdcce4e499794472> (дата обращения: 12.12.2024).

в том числе агрессивных факторов окружающей среды (температурных перепадов и влажности, воздействие атмосферных осадков и т.д.), что может вызывать коррозию металлических и износ бетонных поверхностей.

Помимо этого, при нештатных ситуациях, включая нарушения нормальной эксплуатации, возможен контакт поверхностей указанных перекрытий с твердыми и жидкими радиоактивно загрязненными средами, что обуславливает необходимость предотвращения миграции радионуклидов в материале перекрытия. При этом, необходимым условием становится возможность выполнения эффективной дезактивации с применением химических реагентов (кислот, щелочей) с сохранением эксплуатационных характеристик перекрытия.

В соответствии с Требованиями⁴, эксплуатирующей организацией, в случае негерметичности кровель временных хранилищ РАО должны приниматься меры по восстановлению герметичности. Применение традиционных способов с использованием смесей (растворов) на основе бетона при ремонте строительных конструкций временных хранилищ РАО не может считаться оптимальным. Указанные смеси, как правило, при сушке (застывании) образуют пористую поверхность. Такие бетонные поверхности становятся уязвимыми к агрессивному воздействию кислотных растворов, применяемых при дезактивации и т.д.

Оптимальным способом ремонта строительных конструкций временных хранилищ РАО следует считать применение полимерных композиций для ликвидации дефектов и долговременной защиты поверхностей. Использование для указанных целей полимерных композиций обеспечивает получение покрытий с заданными эксплуатационными свойствами (высокий уровень адгезии по отношению к пористым поверхностям;

стойкость к радиационным нагрузкам, дезактивирующими растворам; стойкость к воздействию изменяющегося состояния окружающей среды).

В настоящее время в промышленности известен ряд полимерных композиций, применяемых при ремонте строительных конструкций. Однако проведенный анализ показал наличие существенных недостатков ранее разработанных полимерных композиций, ограничивающих их применение для герметизации кровель ХТРО. Например, известны кровельные материалы на основе этилен-пропилен(диенового) каучука, обладающие высокими прочностными показателями и хорошей водоотталкивающей способностью [1]. К недостаткам указанных материалов следует отнести: наличие токсичных вулканизирующих веществ, необходимость упрочнения в среде горячего воздуха или пара, и как результат – необходимость дополнительных финансовых затрат для укрепления поверхности.

Также известна полимерная композиция для кровельных материалов, содержащая бутил-каучук, хлорсульфирированный полимер этилен, стеариновую кислоту, оксид магния, тетраметилтиурамдисульфид, меркаптобензтиазол, технический углерод, тяжелую фракцию смолы пиролиза изношенной резины [2]. К недостаткам указанного долговременного покрытия следует отнести: низкие физико-механические свойства, токсичность из-за наличия в составе тетраметилтиурамдисульфида и меркаптобензтиазола. Как следствие – необходимость применения дополнительного материала для укрепления поверхности.

Известна полимерная композиция [3], используемая в строительстве для устройства кровель, в качестве примера, для герметизации стыков кровли, для ремонта кровли. Композиция, в качестве основы содержит каучук с низкой непредельностью. В качестве наполнителя используется полистатический полиизопрен с содержанием (3,4 1,2) композитов выше 60%: нефтяное масло, алифатический растворитель. К недостаткам трех следующих вышеуказанных полимерных композиций относят: недостаточную стойкость к воздействию дезактивирующих

⁴ Правила радиационной безопасности при эксплуатации атомных станций СП 2.6.1.28-2000 (ПРБ АС-99). – Электронный фонд нормативно-технических документов. – Информационная компания «Кодекс». – Режим доступа: <https://docs.ctnd.ru/document/1200074840?ysclid=m9myxmd28g683325991> (дата обращения: 12.12.2024).

растворов, слабая радиационная стойкость, не позволяют обеспечить выполнение требований нормативных документов, действующих в области использования атомной энергии.

Разработка специализированного ЗПП для герметизации кровель хранилищ приповерхностного типа и других радиационно-опасных объектов

Нововоронежской АЭС» совместно с АО «АЭРЦ» в 2023-2024 гг. разработан высокоэффективный способ герметизации кровель хранилищ радиоактивных отходов и других радиационно-опасных объектов, лишенный вышеуказанных недостатков. Работы выполнялись в соответствии с Техническим заданием «Разработка технологической документации на ремонт кровель хранилищ твердых радиоактивных отходов приповерхностного типа с использованием полимерных покрытий для долговременной защиты поверхности (герметизации) кровель ХТРО НВАЭС в рамках устранения отступлений от требований НП-002-15».

Способ герметизации кровель хранилищ радиоактивных отходов и других радиационно-опасных объектов включает в себя:

- предварительную обработку поверхности подлежащей герметизации, путем нанесения двух защитных слоев различного состава (первый слой – грунтовочный изолирующий, на основе водно-дисперсионной краски с локализующими добавками, второй слой – легкодезактивируемый, на основе нитро-эпоксидной эмали);
- покрытие поверхности защитной герметизирующей композицией ЭГАиБ.

При обнаружении р/а загрязненности поверхности подлежащей долговременной защите (ЗПП) полимерными покрытиями очищают применением (нанесением) снимаемых дезактивирующих полимерных композиций, дезактивирующие полимерные композиции подбирают под типы и виды поверхностей подлежащих очистке. Например: битумосодержащие покрытия кровель. Для очистки (дезактивации) от р/а загрязнений применяют дезактивирующие полимерные композиции на органических растворителях. После нанесения и сушки в течении

40 минут при t С окружающей среды $\geq 18^{\circ}\text{C}$ и влажности $\leq 50\%$. Покрытие легко удаляется с дезактивируемой (очищаемой) поверхности. Количество твердых отходов не превышает 80 г. на m^2 поверхности.

Для нанесения и формирования первого подготовительного слоя используется состав на основе водно-дисперсионной краски с добавками – карбоновой кислоты и пиперазина. В качестве альтернативы карбоновой кислоты, может служить уксусная кислота или этилен-диамин-тетроуксусная кислота, или ее динатриевая соль. Первый слой подготовки может наноситься методом безвоздушного распыления или иным способом нанесения. Грунт наносится в 2-3 слоя. Время формирования первого грунтовочного слоя покрытия на основе ВД ЭПЭП-72, при температуре окружающей более 20°C и влажности воздуха не более 40 %, – 18 часов. При этом, межслойная сушка не превышает 10-15 ч.

Для формирования второго слоя предварительной подготовки используется нитроэпоксидная эмаль типа ЭП-51.

Технология нанесения: межслойная сушка: не более 4-6 часов в 1-2 слоя. При вязкости материала ЭП-51 по ВЗ-4 – 20-40 сек, материал наносится кистью или валиком в 2 слоя. Допускается нанесение в один слой. Нанесение производится кистью, валиком, краскораспылителем.

Расход материала подготовительных слоев:

Грунт – 500-600 г/кв.м.

ЭП-51 – 250-300 г/кв.м.

Полимерную композицию ЭГАиБ может наноситься на металлические и бетонные поверхности слоем толщиной 200-300 мкм.

Герметизирующая композиция ЭГАиБ на основе смолы эпоксидиановой типа ВД ЭПЭП-72, используется для формирования основного защитного слоя, модификатором служит–глицидиновый эфир полиатомных спиртов; в качестве антиприпана – хлорпарафин ХП-110; отвердителя – третичный аминофенол; в качестве растворителя применяется ацетон по ГОСТ 2768-84.

Покрытие из композиции марки ЭГАиБ, набирает эксплуатационные характеристики на 50 % – через 10 суток со дня нанесения

композиции и начала формирования и на 100% – спустя 30 суток со дня нанесения, при условии свободного доступа воздуха и конвекций 20°C и 80%-й влажности. К эксплуатации покрытие готово через 2 суток со дня нанесения композиции и через 4 суток – к эксплуатации в аварийных экстремальных условиях. Так как адгезия покрытия на основе ЭГА и Б зависит от состояния поверхности, поэтому до начала работ по защите, составляется Акт тщательного обследования защищаемых поверхностей.

Укрывистость поверхности и заполненность полостей и объемов зависят: от правильной подготовки композиции к использованию, подготовки ее раствора, точности соблюдения технологии подготовки подбетонного объема, полного знания разработчиками инородных компонентов в этом слое.

Защитная полимерная композиция ЭГАиБ наносится в 2 слоя, межслойная сушка при этом, не более 10 часов. Температурный интервал формирования от +15°C до +40°C. При снижении температуры до +5°C, время полного отверждения возрастает. Нанесение полимерной композиции производят валиком или кистью (возможно использование метода пневматического или безвоздушного распыления, либо закачки). По завершению формирования, долговременное защитное покрытие при использовании различных методов дезактивации, легко дезактивируется. При различных эксплуатационных повреждениях, легко восстанавливается.

Срок хранения готового раствора полимерной композиции без отвердителя – до 1 месяца. Условия хранения: сухие помещения, температура окружающей среды +18-+30°C

Для повышения адгезии и обеспечения необходимой укрывистости покрытия, поверхность, подлежащую долговременной защите, предварительно очищают металлической щеткой или пескоструйным аппаратом от грязи, продуктов коррозии, поверхностного щелочного слоя. Пыль удаляют продувкой или промывкой водой. После чего ведут прогрев-сушку горячим воздухом и прокачку, обезвоживание – растворителем. В определенных условиях, при необходимости выполняется предварительное восста-

новление поверхностного слоя кровли ХТРО.

Для нанесения полимерных композиций, температура окружающей среды должна быть в пределах 24 °C и не ниже 18 °C – температуры запретной для работы по нанесению ЗПП. Попадание влаги на поверхность подлежащей защите, не допускается. Затем, на поверхность валиком или кистью последовательно наносят два слоя предварительной обработки (см. выше), добиваясь полного высыхания. После этого, производят приготовление полимерной композиции следующим образом: в емкость наливается расчетное количество компонента «А» (140 массовых частей), после чего тонкой струей добавляют – при тщательном перемешивании – компонент «Б» в количестве 80 массовых частей. Перемешивание компонентов «А» и «Б» выполняют в течении 4-7 минут.

Устройство и оборудование для приготовления и нанесения:

- 1) валик стандартный = -5;
- 2) кисть стандартная = -10;
- 3) герметично закрываемая емкость стандартная.

Возможно использование краскопульта типа «Wagner» или аналога.

При закачке в пустоты (полости) композицию используют в сроки, ограниченные временем ее жизнеспособности. При нанесении покрытия, используется композиция с вязкостью 20-40 сек. по В3-4. При повышенной вязкости, в качестве разбавителя используется ацетон.

Проведение испытаний разработанного ЗПП в условиях Нововоронежской АЭС

Работы по проверке соответствия разработанной композиции заявленным характеристикам выполнялись в соответствии с «Программой работ по разработке полимерных покрытий для долговременной защиты поверхностей кровель хранилищ твердых радиоактивных отходов приповерхностного типа Нововоронежской АЭС включая их герметизацию».

На первом этапе с привлечением аттестованной лаборатории, проведены лабораторные испытания полученных образцов полимерных покрытий. Испытания покрытий для

долговременной защиты бетонных поверхностей на дезактивируемость локализацию и изоляционную способность, проводили в соответствии с действующими НД на эти виды испытаний. Производственные характеристики полученной полимерной композиции и сформированного покрытия приведены в таблицах 1–2.

На втором этапе проводились натурные испытания разработанного способа герметизации кровель временных хранилищ радиоактивных отходов приповерхностного типа Нововоронежской АЭС. Полимерные композиции были нанесены на поверхности из бетона и асфальта в три слоя на объекте ХТРО в соответствии с требованиями Технологии. Вначале, на первом этапе, была выполнена подготовка к проведению работ по нанесению защитного полимерного покрытия (ЗПП). Произведена предварительная обработка поверхностей асфальтированных и из бетона в местах, выбранных для нанесения ЗПП: грязе-пылеочистка и удаление посторонних предметов. В определенных условиях, при необходимости, выполняется предварительное восстановление поверхностного слоя кровли ХРО. При этом применении комплексной технологии нанесения, температура окружающей среды не была ниже 18°C (нижний предел для работ по нанесению ЗПП). По факту температура достигала 24°C. Попадание влаги, на поверхность подлежащей защите, не допускалось. Подлежащее нанесению и формированию ЗПП, в соответствии с разработанной технологией, состояло из двух нижних грунтовочных слоев и верхнего защитного, формируемого из двух полимерных связующих. Фотографии нанесенных слоев приведены на рисунках 1–3.

Таблица 1. Характеристики герметизирующей полимерной композиции и долговременного покрытия на ее основе

Table 1. Characteristics of the sealing polymer composition and long-term coating based on it

Показатели	Значение
Вязкость (может быть увеличена введением наполнителей)	10СП
Разрушающее напряжение при отрыве, МПа:	
-через 1 сутки	10
-через 14 суток	20
Твердость по Бринелю, кг/мм ²	22-24
Химическая стойкость: серная кислота 20%, T=90 °C; едкий натрий 20 %, T=90 °C; борная кислота, насыщенный раствор, T=90 °C	Стойкий
Масло-, бензостойкость	Стойкий

Таблица 2. Специальные свойства покрытия на основе полимерной композиции

Table 2. Special properties of coating based on polymer composition

Показатели	Значение
Адгезия к металлу, МПа:	
-до облучения 10 Мрад	20
-после облучения	10
Радиационная стойкость, рад	ГОСТ 1829-79
Максимальная доза облучения, МРад	100



Рисунок 1. Нанесение первого подготовительного слоя

Figure 1. Applying the first preparatory layer



Рисунок 2. Нанесение второго подготовительного слоя

Figure 2. Applying the second preparatory layer



Рисунок 3. Нанесение полимерной композиции ЭГАиБ

Figure 3. Application of the EGAiB polymer composition

Испытания покрытий производились в период с 01.10 по 31.10.2024 г. и предусматривали:

- воздействие на нанесенные покрытие внешних климатических факторов (перепадов температуры, влажности, атмосферных осадков);
- механическое воздействие от перемещающейся техники, обслуживающего персонала.

Погодные условия в период проведения испытаний характеризовались скачкообразными изменениями температуры (до +18 °C в течение суток). Минимальная температура почвы достигала 0 °C, максимальная +23 °C. В период испытаний наблюдались скачкообразные изменения относительной влажности воздушной среды (до ± 65 % в течение су-

ток). Наблюдались незначительные атмосферные осадки в виде дождя. Интенсивный дождь наблюдался 19.10.2024 г.

Таким образом, погодные условия можно охарактеризовать как достаточно агрессивные, способствующие проявлению дефектов нанесенных покрытий.

Механические воздействия:

- воздействие подошвами спецобуви под собственным весом персонала;
- воздействие колес нагруженной тележки грузовой $m = 30$ кг;
- воздействие бетонной плиты перекрытия $m = 3$ т.

Видимых повреждений полимерной композиции в результате воздействия внешних факторов в период испытаний не выявлено.

Заключение

По результатам испытаний и проверки эксплуатационных и технологических свойств композиционных материалов (на основе ПВБ, Эпоксидных смол) было установлено, что полимерные композиции на основе поливинилбутераля и эпоксидных смол могут быть рекомендованы к применению на кровлях с бетонно-асфальтными покрытиями приповерхностных ХТРО.

Результаты испытаний оформлены отчетом по теме: «Разработка полимерных покрытий для долговременной защиты поверхностей хранилищ твердых радиоактивных отходов приповерхностного типа Ново-воронежской АЭС, включая их герметизацию»

На основании результатов проведенной работы были оформлены:

- «Технология герметизации кровель хранилищ радиоактивных отходов и других радиационно-опасных объектов с применением полимерных композиций с рецептурой для обеспечения герметизирующих свойств с учетом климатических условий Воронежской области»;

- «Технологическая инструкция «Гидроизоляция кровли с помощью полимерной композиции ЭГАиБ».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Бирюкова И.И., Вишницкий А.С., Ревякин Б.И., Говорова О.А., Морозов Ю.Л. Резиновая смесь на основе этиленпропилен (диенового) каучука. Патент RU 2074205C1. Российская Федерация. МПК C08L 23/16. № 94015908/04. Заявлен: 28.04.1994. Опубликован: 27.02.1997. 6 с. Национальная электронная библиотека. Режим доступа: https://yandex.ru/patents/doc/RU2074205C1_19970227?ysclid=m9n04sj8xj78532314 (дата обращения: 12.12.2024).

Biryukova I.I., Vishnitsky A.S., Revyakin B.I., Govorova O.A., Morozov Yu.L. Rubber compound based on ethylene propylene (diene) rubber. Patent RU 2074205C1. Russian Federation. IPC C08L 23/16. No.94015908/04. Announced: 04/28/1994. Published: 02/27/1997. 6 p. National Electronic Library. Available at: https://yandex.ru/patents/doc/RU2074205C1_19970227?ysclid=m9n04sj8xj78532314 (accessed: 12.12.2024).

2. Вишницкий А.С., Бирюкова И.И., Говорова О.А. Полимерный состав. Патент RU 2107706C1. Российская Федерация. МПК C09D 109/06(2006.01), C09D 5/34(2006.01). № 94015910/04. Заявлен: 28.04.1994. Опубликован: 27.03.1994. 6 с. Режим доступа: https://yandex.ru/patents/doc/RU2107706C1_19980327?ysclid=m9mzufpq3f825105757 (дата обращения: 12.12.2024).

Vishnitsky A.S., Biryukova I.I., Govorova O.A. Polymer composition. Patent RU 2107706C1. Russian Federation. IPC C09D 109/06(2006.01), C09D 5/34(2006.01). No. 94015910/04. Announced: 28.04.1994. Published: 27.03.1994. 6 p. Available at: https://yandex.ru/patents/doc/RU2107706C1_19980327?ysclid=m9mzufpq3f825105757 (accessed: 12.12.2024).

3. Вишницкий А.С., Бирюкова И.И., Морозов Ю.Л. Полимерная композиция. Патент RU 2068858C1. Российская Федерация. МПК C08L 23/16(2006.01), C08K 3/04(2006.01), C08L 9/00(2006.01), C08L 23/20(2006.01), C08L 23/22(2006.01), C08L 95/00(2006.01). № 93046019/04. Заявлен: 29.09.1993. Опубликован: 10.11.1996. 6 с. Режим доступа: https://yandex.ru/patents/doc/RU2068858C1_19961110?ysclid=m9n04yg2a4742778487 (дата обращения: 12.12.2024).

Vishnitsky A.S., Biryukova I.I., Morozov Yu.L. Polymer composition. Patent RU 2068858C1. Russian Federation. IPC C08L 23/16(2006.01), C08K 3/04(2006.01), C08L 9/00(2006.01), C08L 23/20(2006.01), C08L 23/22(2006.01), C08L 95/00(2006.01). No. 93046019/04. Announced: 29.09.1993. Published: 10.11.1996. 6 p. Available at: https://yandex.ru/patents/doc/RU2068858C1_19961110?ysclid=m9n04yg2a4742778487 (accessed: 12.12.2024).

ВКЛАД АВТОРОВ:

Поваров В.П. – организация проведения исследования полимерных композиций для герметизации кровель хранилищ радиоактивных отходов приповерхностного типа;

Росновский С.В. – участие в организации исследования, анализ требований нормативных документов, обоснование применения многослойных полимерных композиций, контроль качества и координация работы команды исследования;

Дорошенко А.В. – методическая и организационная поддержка при разработке плана исследования, нанесении и испытании полученных образцов;

Чернышов Д.В. – контроль качества выполняемых работ, документирование результатов;

Росновский В.С. – обработка и систематизация результатов исследований, подготовка материалов к печати;

Заболотный В.И. – проведение исследования полимерных композиций различного состава, обеспечение проведения лабораторных испытаний образцов;

Заболотный И.В. – обоснование применения глицидинового эфира полиатомных спиртов в качестве модификатора;

Кулев Д.Х. – обоснование номенклатуры применяемых компонентов, их соотношения и технологической совместимости, разработка плана исследования, методическая поддержка при выполнении работ.

AUTHORS' CONTRIBUTION:

Povarov V.P. – organizing research on polymer compositions for sealing roofs of near-surface radioactive waste storage facilities;

Rosnovsky S.V. – participating in the organization of research; analyzing the requirements of regulatory documents; justifying the use of multilayer polymer compositions; carrying out quality control and coordinating the work of the team;

Doroshenko A.V. – providing methodological and organizational support in the development of a research plan, application and testing of the obtained samples;

Chernishev D.V. – organizing quality control of the work performed, documentation of the results;

Rosnovsky V.S. – carrying out the processing and systematization of research results, preparation of materials for printing;

Zabolotniy V.I. – organizing the research of polymer compositions of various compositions, providing laboratory tests of samples;

Zabolotniy I.V. – justifying the use of glycidine ether of polyatomic alcohols as a modifier;

Kulev D.X. – substantiating the nomenclature of the components used, their ratio and technological compatibility, developing a research plan, providing methodological support during the work.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ:

Финансирование за счет средств Нововоронежской АЭС.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

Конфликт интересов отсутствует.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ:

Владимир Петрович Поваров, доктор технических наук, директор Филиала АО «Концерн Росэнергоатом» «Нововоронежская атомная станция» (Нововоронежская АЭС), г. Нововоронеж, Воронежская обл., Российской Федерации.

<https://orcid.org/0000-0001-9092-9160>

e-mail: nvnpp1@nvnpp1.rosenergoatom.ru

Сергей Викторович Розновский, кандидат технических наук, заместитель главного инженера по радиационной защите Филиала АО «Концерн Росэнергоатом» «Нововоронежская атомная станция» (Нововоронежская АЭС), г. Нововоронеж, Воронежская обл., Российской Федерации.

e-mail: RosnovskySV@nvnpp1.rosenergoatom.ru

Александр Владимирович Дорошенко, заместитель начальника цеха по обращению с радиоактивными отходами Филиала АО «Концерн Росэнергоатом» «Нововоронежская атомная станция» (Нововоронежская АЭС), г. Нововоронеж, Воронежская обл., Российской Федерации.

e-mail: DoroshenkoAV@nvnpp1.rosenergoatom.ru

Денис Вячеславович Чернышов, заместитель начальника отдела радиационной безопасности Филиала АО «Концерн Росэнергоатом» «Нововоронежская атомная станция» (Нововоронежская АЭС), г. Нововоронеж, Воронежская обл., Российской Федерации.

e-mail: ChernishovDV@nvnpp1.rosenergoatom.ru

Виктор Сергеевич Розновский, оператор реакторного цеха Филиала АО «Концерн Росэнергоатом» «Нововоронежская атомная станция» (Нововоронежская АЭС), г. Нововоронеж, Воронежская обл., Российской Федерации.

e-mail: rvs05071999@yandex.ru

Валерий Илларионович Заболотный, Технический директор Общества с ограниченной ответственностью «АЭРЦ», г. Москва, Российская Федерация.

e-mail: aertc@mail.ru

Заболотный Иван Валерьевич, Начальник отдела Общества с ограниченной ответственностью «АЭРЦ», г. Москва, Российская Федерация.

e-mail: aertc@mail.ru

Кулев Дмитрий Христофорович, доктор технических наук, профессор, Общество с ограниченной ответственностью «АЭРЦ», г. Москва, Российская Федерация.

e-mail: aertc@mail.ru

FUNDING:

Financing from Novvoronezh NPP funds.

CONFLICT OF INTEREST:

No conflict of interest.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:

Vladimir P. Povarov, Vladimir P. Povarov, Dr. Sci. (Engin.), Head of Novvoronezh Nuclear Plant the branch of Rosenergoatom Concern JSC (Novvoronezh NPP), Novvoronezh, Voronezh region, Russian Federation.

<https://orcid.org/0000-0001-9092-9160>

e-mail: nvnpp1@nvnpp1.rosenergoatom.ru

Sergey V. Rosnovsky, Can. Sci. (Engin.), Deputy Chief Engineer for Radiation Protection Novvoronezh Nuclear Plant the branch of Rosenergoatom Concern JSC (Novvoronezh NPP), Novvoronezh, Voronezh region, Russian Federation.

e-mail: RosnovskySV@nvnpp1.rosenergoatom.ru

Alexander V. Doroshenko, Deputy Head of the Radioactive Waste Management Department Novvoronezh Nuclear Plant the branch of Rosenergoatom Concern JSC (Novvoronezh NPP), Novvoronezh, Voronezh region, Russian Federation.

e-mail: DoroshenkoAV@nvnpp1.rosenergoatom.ru

Denis V. Chernishov, Deputy Head of the Radiation Safety Department Novvoronezh Nuclear Plant the branch of Rosenergoatom Concern JSC (Novvoronezh NPP), Novvoronezh, Voronezh region, Russian Federation.

e-mail: ChernishovDV@nvnpp1.rosenergoatom.ru

Victor S. Rosnovsky, reactor shop operator Novvoronezh Nuclear Plant the branch of Rosenergoatom Concern JSC (Novvoronezh NPP), Novvoronezh, Voronezh region, Russian Federation.

e-mail: rvs05071999@yandex.ru

Valery I. Zabolotniy, Technical Director of the AERC LLC, Moscow, Russian Federation.

e-mail: aertc@mail.ru

Ivan V. Zabolotniy, Head of the Department of the AERC LLC, Moscow, Russian Federation.

e-mail: aertc@mail.ru

Dmitry X. Kulev, Dr. Sci. (Engin.), Professor, AERC LLC, Moscow, Russian Federation.

e-mail: aertc@mail.ru

Поступила в редакцию / Received 10.02.2025

После доработки / Revision 12.05.2025

Принята к публикации / Accepted 15.05.2025