

Група винаходів відноситься до області радіаційного матеріалознавства, фізики і ядерної техніки, зокрема, до матеріалів і способів виготовлення захисних матеріалів, які призначені для використання в різних галузях народного господарства при виготовленні чи покритті екранів, що послаблюють гамма-випромінювання, і можуть бути використані при виготовленні контейнерів для транспортування і збереження радіоактивних відходів.

При виготовленні захисних контейнерів, як правило, одночасно створюють конструкцію і матеріал. Це пов'язано з тим, що радіоактивні відходи поділяються на рідкі і тверді, і мають різні рівні активності. Відходи першої категорії (хімічні і токсичні) можна піддавати звичайній обробці і перевозити без спеціальних запобіжних заходів. Відходи другої категорії (низькоактивні відходи) можна перевозити у простих упаковках із захистом із шару бетону. Відходи третьої категорії (відходи середньої активності) можна обробляти і перевозити, коли прийняті спеціальні запобіжні заходи для захисту. Тому процес створення матеріалу прив'язується до конкретних умов і є дуже трудомістким і дорогим процесом.

Найбільш уживаним матеріалом для захисту від гамма-випромінювань є бетон. Так відомий портландський бетон, повсюдно уживаний для захисту від випромінювань, містить як заповнювачі пісок і гравій. Щільність різних видів звичайного портландського бетону складає $2,0-2,4 \text{ г/см}^3$. Контейнер із бетону з такою щільністю досить громіздкий і має значну товщину стінок.

Основною задачею при конструюванні захисту від гамма-випромінювання можна вважати зниження ваги і товщини розроблювальних для цього радіаційно-захисних матеріалів. Однак, створення компактного захисту зі зменшеною товщиною шару веде до зростання маси захисного шару через використання відомих важких заповнювачів. І, навпаки, збереження ступеня ослаблення гамма-випромінювання при зниженні щільності матеріалу спричиняє необхідність збільшення товщини захисного шару. У цьому полягає основне протиріччя при створенні ефективного компактного захисту, оскільки одночасного зниження товщини і маси радіаційно-поглинаючого матеріалу практично неможливо досягти при застосуванні відомих модифікаторів.

Це протиріччя вимагає компромісного підходу до вибору товщини і маси захисного матеріалу з урахуванням його вартості.

Для компактного захисту з меншою товщиною захисного шару застосовують більш щільні бетони з залізовмісними чи свинцево-утримуючими модифікаторами.

Відомий радіаційно-захисний матеріал, що містить цемент у вигляді бариту, поліалюмометилсилікат свинцю й оксид свинцю (див. А.С. СРСР №1492987, МПК⁴ G21F1/02, заяв. 08.07.87).

Наявність у заповнювачі баритового бетону як елемента з великим атомним номером дозволяє підвищити радіаційно-захисні властивості матеріалу. Присутність поліалюмометилсилікат свинцю й оксиду свинцю забезпечує щільність такого бетону, де $\rho = 3,0-3,6 \text{ г/см}^3$.

Однак, барит не усуває викладеного вище основного протиріччя при створенні ефективного компактного захисту від гамма-випромінювань, оскільки для збереження ступеня його ослаблення при зниженні щільності захисного шару необхідно збільшити його товщину. Захисні вироби із застосуванням баритового піску також мають низьку міцність і недостатньо високі захисні властивості, що обмежують можливості його використання. Крім того, матеріали на основі з'єднань свинцю є токсичними, а на усунення токсичності потрібні додаткові дії і витрати.

В даний час розроблено радіаційно-захисні матеріали нового класу, засновані на полідисперсних системах, які дозволяють зменшити товщину і масу матеріалу й одночасно підвищити їх захисні властивості в 2-3 рази за рахунок зниження масової частини модифікатора.

По існуючим на сьогоднішній день уявленням порошкоподібний модифікатор повинний бути досить дрібнодисперсним і одночасно однорідним по розмірам часток, оскільки, при саме цих умовах досягається найкраща якість радіаційно-захисного матеріалу.

Відомий радіаційно-захисний еластомерний матеріал (див. А.С. СРСР №1780435, МПК⁵ G21F1/08, заяв. 23.04.91), що містить зв'язні - гуму на основі силісанового каучуку і наповнювач - порошкоподібний вольфрам, що містить дві гранулометричні фракції з частками сферичної форми: крупнозернисту - з розміром часток 40-70 мкм і дрібнозернисту - з розмірами часток 4-6 мкм. Сумарний зміст вольфраму в матеріалі - 90-96 мас. %.

Склад порошку і форма його часток дозволяють підвищити радіаційно-захисні властивості матеріалу шляхом його ущільнення. Ефект відбувається відповідно до відкриття «Явище аномальної зміни інтенсивності потоку квантів проникаючого випромінювання моно- і багатоеlementними середовищами» (Диплом №57 Міжнародної Асоціації авторів наукових відкриттів). Відкриття відноситься до фізики полідисперсних середовищ, зокрема, до взаємодії з ними радіаційного випромінювання. Автори відкриття досліджували діапазон полідисперсних часток розміром від 10 до 1000 мкм, що широко використовується в сучасній технології. Експериментально доведено, що при взаємодії радіаційного випромінювання з полідисперсними середовищами спостерігається ослаблення радіаційного випромінювання. Причиною цього є самоорганізація моно- і полідисперсних часток у систему енергетично взаємозалежних ансамблів завдяки сегрегації шляхом перемішування сухої багатоеlementної полідисперсної суміші.

Крім того, вольфрам є стійким армуючим і нетоксичним матеріалом.

Отримані вироби у вигляді листових виробів невеликої товщини можуть бути використані для захисних чохлів, одягу для індивідуального захисту персоналу рентгенівських установок.

Однак, для виготовлення захисних контейнерів цей матеріал не придатний.

Найбільш близьким по технічній суті і результату, що досягається, є композиційний матеріал для захисту від радіаційного випромінювання (з-ка WO199119, МПК³ G21F1/10, опубл. 27.12.01) на основі полімерного зв'язного з наповнювачем у вигляді порошку. Матеріал має наступне співвідношення компонентів, мас. %: полімерне зв'язне - 2-30, вільний від свинцю неорганічний порошок - 70-98.

З існуючих полімерних матриць полімерна смола володіє достатньою механічною міцністю, хімічною і радіаційною стійкістю, що дозволяє використовувати її для створення захисних покриттів та екранів, що протистоять дії гамма-випромінювання.

Полімерний композит забезпечує збільшення термостійкості, механічної міцності на стиск і підвищену ефективність захисту від гамма-випромінювання.

Однак, незначне зниження процентного змісту з'єднань неорганічного порошку у складі матеріалу

виявляється на зниженні міцності виробів з цього матеріалу і, відповідно, зменшує область його застосування. Матеріал звільнено від свинцю, тому він є нетоксичним матеріалом і не потребує при його використанні додаткових заходів, що локалізують чи усувають цей недолік, що веде до подорожчання матеріалу.

До основних недоліків відомого радіаційно-захисного матеріалу варто віднести значну витрату неорганічного порошку (металу), за рахунок чого підвищується товщина і відповідно маса матеріалу та витрати на його виготовлення.

Відомий спосіб виготовлення виробів з радіаційно-захисного матеріалу на основі окису кадмію (див. А.С. СРСР №915638, МПК ³ G21F1/08, заявл. 02.06.80), що включає формування виробу і випал з наступним охолодженням.

Потім виріб поміщають у розчинник, після чого витримують і проводять вторинний випал при температурі 1200°-1300° С протягом 10-15хв.

Недоліком відомого способу є те, що матеріал на основі окису кадмію, температуростійкий при температурах порядку 1000°С, за рахунок помітної швидкості сублімації, утрачає ці свої якості при температурах 1200°-1300°С. На проведення випалу йде велика витрата енергії і в результаті зростає вартість матеріалу. Крім того, кадмій є дорогим матеріалом.

Найбільш близьким по технічній суті і результату, що досягається, є спосіб виготовлення радіаційно-захисного композиційного матеріалу (див. пат. DE 1995192, МПК G21F1/10, 3/02, опубл. 31.05.01), що передбачає введення в полімерну смолу з'єднання дрібнодисперсного порошку, перемішування й отвердіння суміші. З'єднаний порошок додають при постійному перемішуванні при підвищеній температурі і витримують суміш при тій же температурі. Після охолодження проводять вулканізацію. З'єднаний порошок в суміші отримують шляхом змішування дрібнодисперсного порошку металу із "сілікат алюмінія магнія", в який додаються хімічні елементи такі як цинковий стеарит, сіль вуглецевої кислоти стронцію, вольфрамвокислий кальцій, гадолій, олов'яний оксид, лантаніди і далі. Метало-властива суміш складає 80% від ваги матеріалу.

Суміш складається з кількості елементів, які потребують додаткового контролю при взаємодії між собою, а також з полімерним матеріалом, за рахунок нестійкості хімічних елементів та їх токсичності, тому підвищують трудоемність технологічного процесу і отримання кінцевого продукту.

До недоліків відомого способу варто віднести проведення його при підвищенні температури. У результаті розбіжного градієнта температур плавлення наповнювача і полімеру у відомому матеріалі при нагріванні вище 80°С, в його структурі спостерігається мікроліквіція і значні внутрішні напруження, що приводять до збільшення неоднорідності матеріалу, а це негативно позначається на його якості.

Тому недоліками відомого способу є низька продуктивність, за рахунок трудомісткості технологічного процесу, а також невисокі якісні властивості матеріалу.

В основу першого з групи винаходів поставлено задачу одержання радіаційно-захисного композиційного матеріалу шляхом введення нових компонентів і зменшення змісту металу, що забезпечує зменшення водночас ваги та товщини матеріалу, а також зниження його собівартості.

В основу другого з групи винаходів поставлено задачу удосконалення способу виготовлення радіаційно-захисного композиційного матеріалу шляхом одержання високо-однорідної дисперсної системи, що обумовлює виникнення подвійного аномального ефекту послаблення випромінювання, що забезпечує підвищення якості матеріалу, а також дозволяє знизити трудомісткість і вартість його виготовлення.

Перша поставлена задача вирішується тим, що радіаційно-захисний композиційний матеріал на основі полімерного зв'язного з наповнювачем у вигляді порошку, відповідно до винаходу, містить дисперсну суміш порошку вольфраму з порошком нікелю у якості наповнювача, який додатково містить силікатну масу і мелене мінеральне волокно при наступному співвідношенні компонентів, мас. %:

полімерне зв'язне	20-22
порошок вольфраму	10-11,5
порошок нікелю	1,0-1,5
мінеральне волокно	9-10
силікатна маса	решта

Радіаційно-захисний композиційний матеріал містить діанову смолу у якості полімерного зв'язного.

Уведення до складу матеріалу діанової смоли в співвідношенні 20-22% забезпечує високий рівень фізико-механічних характеристик при максимальному наповненні композиції.

Уведення до складу захисного матеріалу 1,0-1,5% порошку нікелю додатково забезпечує створення губчатої структури металевих елементів.

Відомо, що силікатна маса впливає на термічну характеристику матеріалу. Використання цієї модифікуючої добавки забезпечує підвищення радіаційно-захисних властивостей матеріалу на 25-35%.

Розподіляючись по всьому об'єму силікатної маси, оєгреговані частки вольфрамвої суміші дозволять одержати високощільний матеріал з підвищеними захисними властивостями.

Унаслідок того, що силікатна маса містить масову частку окису заліза від 3 до 3,5%, відбувається ефект аномального зменшення інтенсивності проникаючого випромінювання.

Силікатну масу одержують шляхом змішування піску, до складу якого входять; SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, TiO₂, MnO з вапняком, до складу якого входять: CaO, MgO, SO₃, K₂O, Na₂O, домішки сухої породи.

Середні типові співвідношення вищевказаних компонентів приведені в табл.1.

Таблица 1

Склад силікатної маси

Пісок	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	TiO ₂	MnO	Разом
%	74,98	2,35	2,94	0,35	0,14	0,02	80,5
Вапняк	CaO	MgO	SO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	домішки порожньої породи	

%	14,7	0,62	0,03	0,22	0,16	3,77	19,5
---	------	------	------	------	------	------	------

Використання модифікованої силікатної маси з мінеральною добавкою у вигляді тонкого помелу базальтового волокна дозволяє зв'язувати систему за рахунок полідисперсності часток, що збільшує питому поверхню до $8000\text{см}^2/\text{г}$ та забезпечує максимально швидку взаємодію компонентів матеріалу.

Використання подвійного аномального ефекту, що виникає у визначеному співвідношенні, дозволяє підвищити упакування часток в стані їх насипки. Ці властивості досягаються з меншим змістом металу (вольфраму і нікелю). Таким чином, введення нових компонентів і підбір їх складу забезпечує зменшення товщини і маси радіаційно-захисного композиційного матеріалу та підвищення його міцносних і захисних характеристик.

Крім того, матеріал, що заявляється, не токсичний унаслідок відсутності агресивних хімічних елементів та їх з'єднань.

Застосовуючи діанові смоли з різною довжиною молекулярного ланцюга і використовуючи різні отверджувачі, можна змінювати в широких межах фізико-хімічні властивості одержуваних полімерів - від гумоподібних у звичайних умовах матеріалів до твердих і високоміцних.

Вибір оптимального складу захисного матеріалу обумовлений рівнем гамма-випромінювання і міцністю матеріалу при розтяганні. Підбір компонентів здійснюється в заявлених межах і визначається у вузькому діапазоні для кожної модифікуючої суміші по виявленому експериментальним шляхом аномальному ефекті зменшення інтенсивності випромінювання.

Друга поставлена задача вирішується тим, що спосіб виготовлення радіаційно-захисного композиційного матеріалу, що передбачає введення в полімерну смолу з'єднання дрібнодисперсного порошку, перемішування й отвердіння суміші, відповідно до винаходу, дрібнодисперсний порошок одержують шляхом змішування 80% круглих часточок з 20% плоских часточок порошку вольфраму розміром $100\times 50\text{мкм}$ із порошком нікелю, а потім додають суміш силікатної маси з меленим мінеральним волокном, при чому отвердіння суміші проводять при нормальних умовах.

Металевий порошок вольфраму у вигляді 80% круглих часток і 20% плоских часток розміром $100\times 50\text{мкм}$ забезпечує можливість уведення до складу матеріалу відносно більшого об'єму вольфраму з його меншим процентним змістом. При цьому порошок нікелю сприяє отриманню поліпшеної губчастої структури металевих компонентів.

У результаті ретельного перемішування усього об'єму суміші, частки в його складі утворюють енергетичні ансамблі, що дозволяють рівномірно розподілятися по всьому об'єму матеріалу і додають останньому властивість аномально сильно послабляти гамма-випромінювання. Це додає матеріалу високі радіаційно-захисні властивості. Матеріал відрізняється хімічною інертністю і нетоксичністю унаслідок відсутності токсичних матеріалів і їх з'єднань, тому немає необхідності в додаткових захисних мірах при виготовленні матеріалу.

Використання полімерного зв'язного у вигляді системи, що включає діанову смолу, забезпечує виготовлення матеріалу при нормальних умовах і додає матеріалу високий рівень міцності, водо- і хімічної стійкості.

З огляду на підвищену в'язкість матеріалу на основі діанових смол з отверджувачем амінного типу при нормальних умовах, їхню переробку без використання органічних розчинників роблять за допомогою реакційно-здатних розріджувачів. Найбільш ефективними реакційно-здатними розріджувачами діанових смол є аліфатичні епоксидні смоли, що роблять одночасно модифікуючу дію, що приводить до підвищення відносного подовження й ударної в'язкості одержуваних матеріалів. Матеріали на основі діанової смоли, яка складається, наприклад, з реакційно-здатного розріджувача та модифікованого амінного отверджувача, володіють визначеною технологічною перевагою, тому що виключається застосування органічних розчинників для зниження в'язкості матеріалу при переробці і не потрібно високотемпературного режиму при проведенні процесу виготовлення матеріалу.

Використання силікатної маси з мінеральною добавкою у вигляді базальтового волокна тонкого помелу, крім збільшення захисних властивостей, дозволяє зв'язувати систему за рахунок дисперсності часток силікатної маси, забезпечує максимально швидку взаємодію компонентів, що збільшує питому поверхню матеріалу до $8000\text{см}^2/\text{г}$. Це дозволяє матеріалу витримувати температуру займання до 1100°C , забезпечує теплопровідність, зменшує його щільність і беззасадочність, а саме головне підвищує морозостійкість і довговічність матеріалу (більш 200 років).

Таким чином, використання запропонованого способу дозволяє при однаковій витраті модифікаторів чи зменшити товщину матеріалу при збереженні його ефективності, чи збільшити радіаційно-захисну ефективність при збереженні товщини матеріалу.

Спосіб дозволить одержувати матеріали з необхідними якостями в співвідношенні, що заявляється, розміри компонентів модифікуючих добавок. Уведення до складу матеріалу для захисту від гамма-випромінювання наповнювача у вигляді вольфрамової суміші, нікелю, мінерального волокна і силікатної маси забезпечує зниження вартості виготовлення матеріалу й ефективність захисту від радіаційних випромінювань.

Знижуючи загальну масу захисного матеріалу, на відміну від відомого застосування бетонів, нове застосування суміші силікатної маси з меленим базальтовим волокном найбільш повно задовольняє суперечливим, потребуючим компромісу, вимогам для захисних матеріалів, тобто щільності-товщині, спрощенню способу виготовлення і зменшення його вартості.

Високі експлуатаційні характеристики досягаються шляхом підбора складу й одержання високо однорідної суміші, що забезпечує використання подвійного аномального ефекту послаблення випромінювання для підвищення рівня захисту.

Новий матеріал дозволить розширити номенклатуру радіаційно захисних матеріалів і може ефективно використовуватися в різних областях енергетики й екології для виготовлення захисних контейнерів.

Матеріал виготовляють наступним способом.

Вольфрам використовують у вигляді порошку ПВТ-У ТУ 48-19-352-83 змішанням 10-11,5% його від маси

матеріалу у вигляді 80% круглих часточок і 20% плоских часточок розміром 100х50мкм із 1,0-1,5% порошку нікелю. Потім змішують мінеральне волокно із силікатною масою. Як мінеральне волокно використовують розмелені в кульовому млині супертонкі базальтові волокна типу ТК-1 (РСТ Укр 1951-84). Силікатну масу одержують шляхом змішування піску з вапняком (див. таблицю 1). Потім отримані компоненти ретельно перемішують у сухому вигляді.

Як епоксидна композиція використовується матеріал на основі композиції УП-С1 у кількості 20-22% (УП-4-282 ТУ-6-10-56-92 Україна). Заливальні композиції готуються при температурі робочого приміщення 15-30°C змішанням розрахункових кількостей смоляної частини сполучного, пігментної пасту і тиксотропної добавки. Зазначені компоненти перемішуються протягом 2-3 хвилин. Потім у дану композицію вводиться модифікуюча добавка, (ретельно перемішаний склад із суміші полідисперсної вольфрамової суміші з порошком нікелю і суміші силікатної маси з мінеральним волокном). Перемішується склад з епоксидною композицією протягом 3-5хв., витримується протягом 5-10хв., після чого вводиться розрахункова кількість отверджувача. Змішування можливо робити на місці застосування матеріалу.

Свіжоприготовлені наповнені композиції заливаються в металеві форми і їх отвердіння здійснюється при температурі 15-30°C. Потім отверджуванні панелі розрізаються й обробляються для одержання необхідного виробу.

Приклад.

Для порівняльних іспитів було виготовлено два циліндричних зразки діаметром 5см і висотою 0,5см.

Перший зразок був виготовлений з діанової смоли УП-С1 (УП-4-282, ТУ-6-10-56-92) з отверджувачем по ТУ 6-10-1263-77. При цьому маса зразка склала 20,58г при щільності стверджуваної епоксидної смоли $\rho=2,1\text{г/см}^3$.

Другий зразок був з тієї ж діанової смоли, виготовлений з додаванням сухої багатоелементної полідисперсної суміші порошку вольфраму з порошком нікелю із сумішшю силікатної маси (див. табл.1) із супертонким базальтовим волокном (склад і співвідношення компонентів суміші приведеш в табл.2).

Таблиця 2

Склад компонентів композиції в зразку №2

№ п/п	Компоненти	Співвідношення компонентів в % по масі до загальної маси зразка /(г)
1.	Діанова смола УП-С1 (УП-4-282282, ТУ-6-10-56-92) з отверджувачем по ТУ 6-10-1263-77	20 (4,12)
2.	Сухий порошок вольфраму (ТУ 48-19-352-83) (круглі часточки - 80%, плоскі -20%) дисперсності 50х100мкм	10 (2,06)
3.	Порошок нікелю	1 (0,21)
4.	Розмолоте у кульовому супертонке базальтове волокно типа ТК-1 (РСТ Укр 1951-84)	9 (1,85)
5.	Силікатна маса (табл.1)	60 (12,35)

Маса другого зразка була витримана рівною 20,58г.

Порівняльні іспити проводилися при енергії 100Кев за схемою прямого опромінення пучком гама-випромінювання з реєстрацією фотонів, що пройшли через зразок, на сцинтиляційному детекторі.

У процесі досліджень проводилися порівняння даних, отриманих у результаті іспитів, з даними, отриманими на основі загальноприйнятих теоретичних залежностей.

Як відомо, ослаблення пучка квантів шаром матеріалу товщиною "х" відповідно до загальновідомої залежності Бугера відбувається по експонентному закону:

$$I=I_0 \cdot e^{-\mu \cdot x}$$

де: I - інтенсивність випромінювання, що пройшло шар матеріалу товщиною x;

I_0 - інтенсивність падаючого випромінювання;

e - підстава натурального логарифма рівна 2,718;

μ - лінійний коефіцієнт ослаблення.

Звідси величина коефіцієнта ослаблення інтенсивності рентгенівського випромінювання:

$$K=I_0/I=e^{\mu \cdot x}$$

Для більшості відомих рентгенпоглинаючих матеріалів у довідниках приводиться розрахункове значення цієї величини в залежності від товщини просвічуваного шару.

У результаті просвічування зразка №1 значення коефіцієнта ослаблення інтенсивності випромінювання, визначеного за результатами іспитів, склало $K=1,185$, що відповідає теоретичної залежності Бугера по ослабленню інтенсивності випромінювання епоксидною смолою. Такому коефіцієнту відповідає еквівалент по свинцю, який дорівнює товщині шару 0,021см, що мав би місце, якщо виготовити зразок з масою свинцю, рівною:

$$m=(\pi d^2/4) \cdot h \cdot \rho_{\text{pb}}=(\pi \cdot 52/4) \cdot 0,021 \cdot 11,3=4,65\text{г.}$$

У результаті просвічування зразка №2 з отриманого композиційного матеріалу значення коефіцієнта ослаблення, визначеного за результатами іспитів, склало $K=8$, що відповідає еквіваленту по свинцю 0,2см, що мало би місце, якби виготовити зразок масою свинцю, рівною:

$$m=(\pi d^2/4) \cdot h \cdot \rho_{\text{pb}}=(\pi \cdot 52/4) \cdot 0,2 \cdot 11,3=44,35\text{г.}$$

З аналізу даних, отриманих у результаті іспитів, і даних, отриманих на основі загальноприйнятих теоретичних залежностей, випливає, що використання модифікуючої маси заявленого складу в другому зразку в порівнянні з першим зразком без неї забезпечує аномально значне збільшення коефіцієнта ослаблення гамма-випромінювання від $K=1,185$ до $K=8$, що еквівалентно збільшенню захисту по свинцю в другому зразку в порівнянні з першим від 4,65г до 44,35г.

Уведення заявленої полідисперсної суміші в матеріал УП-С1 дозволяє збільшити його щільність на

20%, при цьому коефіцієнт лінійного ослаблення збільшиться на 350-800% (у залежності від енергії випромінювання). На практиці такі коефіцієнти не завжди вимагаються, тому вони можуть регулюватися змістом модифікатора при рішенні кожної конкретної інженерної задачі.

Матеріал із заявленим складом компонентів має:

межу міцності, МПа:

- при стиску - не менш 60;

- при розтяганні - не менш 20,0;

ударну в'язкість - не менш 14 КДж/м;

опір вогню - немає займання до 1100° С за рахунок модифікованих добавок;

зміна механічних властивостей після впливу гамма-випромінювань не спостерігається нижче дози $1,5 \times 10^8$ рад.

Пропонований винахід дозволить одержати матеріал, що володіє високою захисною ефективністю. Високі міцнісні характеристики, можливість одержання міцної полотної різної товщини (2-10 мм) і будь-яких профілів дозволять знайти широке застосування для передбачуваних матеріалів.

До достоїнств пропонованого винаходу відноситься доступність вітчизняної сировинної бази, відсутність токсичних виділень при експлуатації, простота виробництва, широкий температурний інтервал експлуатації виробів від -100°С до +100°С.

Крім того, спосіб виготовлення радіаційно-захисного композиційного матеріалу відрізняється простотою і низькою вартістю, не вимагає значних витрат часу й енергії, екологічно чистий, легко піддається автоматизації, характеризується великою продуктивністю.

Новий матеріал дозволить розширити номенклатуру радіаційно захисних композиційних матеріалів.

Використання пропонованої композиції дозволить застосовувати дешеву сировину, розташовану в Україні, не тільки без погіршення якості продукції, але й за рахунок більшої ефективності знижувати матеріальні та інші витрати.