ПРИДНІПРОВСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ
БУДІВНИЦТВА ТА АРХІТЕКТУРИ

На правах рукопису

СЕРДЮК Василь Романович

ЕЛЕКТРОПРОВІДНІ БЕТОНИ ПОЛІФУНКЦІОНАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

05.23.05. — Будівельні матеріали та вироби

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Дніпропетровськ – 1997

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Вінницькому Державному Технічному університеті

Офіційні опоненти:

Доктор технічних наук, професор Сергієв Аврор Михайлович

Доктор технічних наук, професор Матвієнко Василь Андрійович

Доктор технічних наук, професор Вировий Валерій Миколайович

Ведуча організація — Дніпропетровське дочірнє орендне підприємство науково-дослідного інституту будівельного виробництва

Захист дисертації відбудеться "22" травня 1997 р. о 13 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д.03.07.05 при Придніпровській Державній Академії будівництва та архітектури (ПДАБА) за адресою:

320600, м. Дніпропетровськ, вул. Чернишевського, 24 "а"

З дисертаційною роботою можна ознайомитись у бібліотеці ПДАБА.

Автореферат розіслано "22" квітня 1997 р.

Вчений секретар спеціалізованої Ради,
кандидат технічних наук, доцент А.К. Карпухіна

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Першочергові задачі в галузі виробництва цементних композиційних матеріалів пов'язані із зниженням матеріало- і енергоємності, залученням у виробничий процес побічних продуктів промисловості. Використання відносно дешевого цементного бетону як електротехнічного матеріалу має великі перспективи для енергетики та інших галузей народного господарства.

Розроблені і вивчені електропровідні бетони (бетели), що містять вуглецеві компоненти, мають відчутні недоліки, пов'язані із нестабільністю електрофізичних властивостей в часі. Це викликано головним чином негативними властивостями токопровідного компоненту, а саме: відсутністю адгезії між провідниковим компонентом і цементним каменем, вигоранням вуглецю при проходженні через матеріал електричного струму, що є причиною постійного зростання електричного опору. Через низьку температуропровідність цього композиційного матеріалу має місце теплове старіння мінеральної діелектричної зв'язки.

Розробники і дослідники бетелу стверджують, що на сучасному рівні технології виробництва резистивних композиційних матеріалів, які містять вуглець, практично вичерпані конструктивно-технологічні можливості поліпшення їх техніко-економічних показників.

Наявність оксидних термостійких плівок на поверхні сталевих порошків, які одержують на основі шліфувальних шламів підшипникового виробництва, виключає гіпотетичне припущення розроблювачів бетелів щодо спайки частинок металевого порошку при проходженні електричного струму і виділенні Джоулевого тепла у місцях контактів частинок.

Оксиди заліза на поверхні частинок металу є інтенсифікаторами утворення низькоосновних гідросилікатів кальцію із вмістом заліза, гідрогранатів у складі цементного каменю, які забезпечують бетону підвищені захисні властивості від іонізуючого випромінювання.

Суміщення у бетелі-м властивостей конструкційного і електротехнічного матеріалу визначило ефективне його застосування як низькотемпературного електронагрівача з високою теплоакумуляційною здібністю, екранів електромагнітних і радіоактивних випромінювань, радіопоглинаючих матеріалів, антистатичних підлог, катодних заземлювачів.

Дослідження виконувались згідно з програмою ДКНТ "Ресурсозберігання"–5.52.12, підпрограма 5.52.12/142 "Металонасичені бетони з підвищеними захисними властивостями від іонізуючого випромінювання" 1993–1995 р. та господарськими договорами з підприємствами і Міністерством сільского господарства та Міністерством охорони здоров'я України.

Мета роботи. Розробка теоретичних основ та створення ефективних електропровідних бетонів поліфункціонального призначення з використанням металевого провідникового компоненту та мінерального в'яжучого.

Для її досягнення вирішувались такі задачі:

— теоретичне обгрунтування створення електропровідного металонасиченого бетону широкого призначення;

— дослідження процесів структуроутворення електропровідних бетонів з металевим провідниковим компонентом ;

— дослідження екрануючих властивостей бетелів-м;

— розробка технологічних основ створення електричних бетонних нагрівачів та виробів з бетелу-м ніздрюватої, щільної та варіотропної структури, як екранів й поглиначів електромагнітних випромінювань;

— проведення натурних досліджень, техніко-економічна оцінка нового виду бетелів, розробка нормативно-технічної документації по їх застосуванню при широкому впровадженні на підприємствах будівельної галузі;

— розробка заводських промислових технологій електропровідних бетонів і виробів поліфункціонального призначення.

Методи досліджень. Поставлені задачі визначили методи досліджень, основними серед яких були метод аналізу та наукових узагальнень досягнень науки та практики, метод аналітичних досліджень, залучення математичної теорії експерименту. При вивченні структури і спеціальних властивостей використовувались методи диференціально-термічного, рентгено-структурного аналізу, електронної мікроскопії, спеціальні методи оцінки електрофізичних та захисних властивостей бетелу-м від іонізуючих випромінювань при різних потужностях гама-квантів і оцінки радіопоглинаючих властивостей бетелів-м ніздрюватої структури.

Наукова новизна. Розкрито закономірності формування мікро- і макроструктури нового виду бетону — бетелу-м і їх використання в розробці матеріалів і виробів спеціального призначення, основаних

на резистивних, радіопоглинаючих і екрануючих властивостях такого бетону.

— розкрито закономірності гідратаційного твердіння портландцементу в присутності дисперсного заліза різного ступеня оксидації, запропоновано шляхи формування заданих властивостей матеріалу в залежності від його призначення;

— встановлено залежність електропровідності, міцності бетелум від властивостей компонентів, складу і структури, умов отримання;

— розроблено технологічні основи промислового виробництва електропровідних металонасичених бетонів з поліфункціональними властивостями.

Практична цінність роботи. Розроблено новий вид електропровідного бетону з широким діапазоном питомого електричного опору (10^{-1} – 10^{3} Ом·м), стабільними електрофізичними властивостями та технологічні основи промислового виробництва бетонів багатоцільового призначення. На основі наукових досліджень з використанням бетелу-м отримані захисні матеріали і вироби від іонізуючого випромінювання, елементи антистатичної підлоги, радіопоглинаючи матеріали, низькотемпературні електронагрівачі.

Спосіб виробництва електропровідних бетонів, обладнання, склади електропровідних і бетонних сумішей, добавки розроблено на високому рівні, що підтверджено 19 винаходами.

Обгрунтована і експериментально підтверджена можливість виробництва бетелів-м з використанням як стандартних залізних порошків, так і порошків, отриманих з відходів виробництва. Розроблено технологію переробки шліфувальних шламів в металеві порошки.

Виробництво металевого порошку багатоцільового призначення (ТУ 555.М.В 14344430-013-93), електронагрівальних панелей (ТУ 37.567.001-92), нових добавок для бетонних сумішей, бетелів із спеціальними властивостями в певній мірі вирішує одночасно важливі народногосподарські і екологічні проблеми. Показано, що металонасичені штукатурні суміші є для України альтернативою відсутнім баритовим штукатуркам.

Реалізація роботи. За результатами досліджень розроблена нормативно-технічна документація, яка дозволяє рекомендувати для освоєння промисловістю в Україні і за її межами спеціальних електротехнічних бетонів поліфункціонального призначення. Зокрема

з використанням розробок відповідно до постанови Кабінету Міністрів N 110 від 23 лютого 1994 року на ВАТ "Вінницький підшипниковий завод" з 1994 року по проекту інституту ДІПРОХІММАШ будується цех по виробництву металевого порошку і виробів на його основі.

Низькотемпературні бетелові електронагрівачі впроваджені в системі Агропромбуду для обігріву підлоги, опалення приміщень, дачних будинків. Металонасичені штукатурні суміші використані як альтернатива баритовим штукатуркам в рентгенкабінетах медичних закладів Міністерства внутрішніх справ України. Металеві порошки сталі ШХ-15 використовуються для потреб підприємств Міністерства сільського господарства і продовольства.

Вклад автора в розробку проблеми. Автором особисто обгрунтовані наукові положення, висновки і рекомендації, проведення яких в експериментальному і теоретичному плані досліджень дозволило розробити новий вид електротехнічного матеріалу — бетон електропровідний металонасичений з широким спектром електрофізичних властивостей. Досліджено фізико-хімічні процеси структуроутворення таких бетонів, а також їх основні технологічні і експлуатаційні властивості.

Під керівництвом автора і при його безпосередній участі виконувались експериментальні дослідження і роботи по впровадженню бетелів-м у виробництво і розробці нормативно-технічної документації (технічних умов, завдання на проектування, проектів технологічних ліній та інше).

Основні положення і результати, що виносяться на захист:

1. запропоновані і експериментально підтверджені уявлення про механізм створення стабільних електротехнічних властивостей електропровідного бетона, який виключає теплове старіння діелектричної мінеральної зв'язки за рахунок використання провідникового компоненту у вигляді порошкового заліза різного ступеня оксидування;

2. запропонований новий вид термічного оксидованого провідникового компонента на основі сталі ШХ-15, який забезпечує теплопровідність, термостійкість провідникової матриці бетела і виключає потенційно можливу її зварку при роботі електронагрівача;

3. закономірності процесів гідратації мінерального в'яжучого в присутності залізного порошку та структуроутворення металонасичених цементних бетонів;

4. структурно-агрегатна ланцюгова модель композита, її теоретичне і експериментальне підтвердження при оцінці тепло-, електро-, температуропровідності та міцності бетела;

5. теоретична та експериментальна оцінка електропровідності, поглинання та розсіяння енергії електромагнітних іонізуючих випромінювань в бетелах-м щільної, ніздрюватої та варіотропної структури;

6. наукові основи промислової технології електропровідних бетонів і виробів, в т.ч. способи пресування, обладнання, склади сумішей, добавки, що забезпечують виробництво виробів багатоцільового призначення (електронагрівачів, радіопоглинаючих матеріалів, екранів радіаційного захисту, елементів антистатичної підлоги, заземлювачів, штукатурних сумішей, які містять метал).

Апробація роботи і публікації. Матеріали дисертації доповідалися на міжнародних, всесоюзних, республіканських семінарах і конференціях з: досліджень використання залізорудної поліметалевої сировини (Караганда, 1977; Усть-Каменогорськ, 1977); створення безвідходних технологічних процесів (Алма-Ата, 1980, Чимкент, 1986, Севастополь, 1991); комп'ютерного матеріаловедення (Одеса; 1993-1995); застосування виробів із металевих порошків (Севастополь, 1992); будівельних матеріалів (Рівне, 1990, 1996; Вінниця, 1994, 1996; Київ, 1995; Полтава, 1996; Дніпропетровськ, 1993, 1994; Санкт-Петербург, 1988, 1989; Москва, 1992 та ін.).

За результатами досліджень опубліковано 1 монографія, 30 статей, одержано 19 авторських свідоцтв на винаходи.

Об'єм роботи. Зміст дисертаційної роботи викладено на 270 сторінках машинописного тексту. Вона складається із вступу, шести розділів, загальних висновків, бібліографічного списку, куди входить 318 літературних джерел, ілюстрована 73 рисунками та 46 таблицями.

ЗМІСТ РОБОТИ

Високі діелектричні властивості цементного в'яжучого у затверділому сухому стані вперше були реалізовані в якості технічного діелектрика ($\rho = 1 \cdot 10^{10}$ Ом·м) в бетоні "Ламберта" в 30-ті роки у Франції, пізніше і в нашій країні при виготовленні траверс із електроізоляційного бетону для безізоляторного закріплення проводів

ліній електропередач (Ю.Н. Вершинін, А.Ф. Бернацький та ін.). Тимчасова електропровідність незатверділого цементного тіста, насамперед за рахунок порової вологи електроліта ($\rho = 0,1-2$ Ом·м), використовується в технології бетона при його електропрогріві, електроосмосі, активації сумішей електричним струмом і електроімпульсами (Б.В. Крилов, Ю.М. Баженов, А.Н. Плугін, В.А. Матвієнко та ін.).

На початку 60-х років в Сибірському науково-дослідному інституті енергетики був розроблений новий електротехнічний матеріал - бетон електропровідний як альтернатива зарубіжним резисторам із керамічних матеріалів фірм "Морганайт" і "Керамкарб", які є основними виробниками матеріалів цього класу.

Бетел у затвердівшому стані є матричною гетерогенною системою, яка містить цемент, воду, дрібнозернистий наповнювач та добавку компонента, який містить вуглець (технічний вуглець, кокси, антрацит та ін.).

Основна функціональна властивість такого бетону — електропровідність (резистивність) — досягається завдяки наявності у структурі матеріалу неперервного ланцюга, що складається з частинок провідника. Така резистивна композиція є провідником електронного типу.

Електропровідність, електрична міцність, енергоємність, теплоємність, температуропровідність таких бетонів залежить від складу, вида та властивостей компонентів, способа їх розподілення в обсязі, способу формування, виду тепловологої обробки та інших факторів.

Здатність бетелу при заданій електропровідності працювати під високою напругою та розсіювати багаторазово значну кількість електричної енергії була реалізована у вигляді об'ємних резисторів енергетичного призначення (для шунтування, демпфирування, струмообмеження, гальмування).

Практика використання бетелів відзначила такі істотні особливості матеріалу, як відсутність адгезії вуглецю до цементного каменю (частинки вуглецю - умовні пори) і, як наслідок, низька міцність матеріалу та "вигорання" або "старіння" електропровідної матриці при проходженні струму (Джоулево тепло виділяється у контактній зоні частинок вуглецю і останній із твердого стану переходить у газоподібний).

Подальше удосконалення технології виробництва бетелів та їх

властивостей спрямоване та пов'язане з дослідженнями розробників цього матеріалу (Ю.Н. Вершинін, М.С. Добжинський, А.І. Долгінов, Л.Н. Репях, Л.С. Фокіна, В.А. Вахрушев, В.П. Горелов, А.Е. Врублевський, Р.В. Манчук та інші).

Розробка термостійких вуглеграфітів перехідної форми, розширення спектру в'яжучих, які містять силікат натрію, шлаколужні в'яжучі (Г.О. Пугачов, Є.К. Маєвській, І.В. Горілов, І.А. Автономов), алюмохромфосфатне зв'язуюче (Е.Г. Мурадов, В.М. Коннов та інші), доповнилась в послідуючому динамічним та статичним пресуванням жорстких сумішей, пресуванням сухих сумішей при високому тиску з послідуючем їх насиченням паром або водою.

Принципово нові підходи створення резистивних цементних матеріалів покладені в основу досліджень, що виконуються в КДТУ БА під керівництвом Р.Ф. Рунової. За рахунок використання в якості діелектричної матриці в'яжучих контактного твердіння, що представлені дисперсними гідросилікатами кальцію, забезпечується виключення негативного впливу хімічних процесів на стабільність електротехнічних показників матеріалу.

Особливості властивостей бетелів забезпечили в теперешній час широке їх застосування поки що тільки в енергетиці.

На основі аналізу результатів досліджень по даній проблемі і основних положень теорії електропровідності висунена слідуюча наукова **гіпотеза**: ефективність використання металевого компонента різного ступеня оксидування в складі бетелів може визначитись його подвійною роллю, а саме:

1. забезпечення стабільності електротехнічних властивостей при одночасному підвищенні температуропровідності композиту;

2. участь у формуванні залізовміщуючої фази цементної матриці, забезпечуючи створення щільного матеріалу, що в цілому визначає поліфункціональне призначення такого бетону.

На основі аналізу особливостей твердіння портландцементу з добавками оксидів заліза показано, що вони забезпечують інтенсифікацію створення низькоосновних гідросилікатів кальцію. Серія твердих розчинів, які створюються гідрогранатами, визвана наявністю у складі в'яжучого C_3A, C_4AF і оксидів заліза. Гідратовані алюмоферитні новостворення вміщують в 2,7–4,7 рази води більше, ніж силікати кальцію. Тому бетел-м уявляється як штучно синтезований матеріал для захисту від іонізуючих випромінювань: метал екранує γ-випромінювання, а легкі ядра водню у вигляді хімічно зв'язаної

води — нейтронні потоки.

Використання стандартних залізних порошків і порошків, які отримані на основі шліфувальних шламів-відходів виробництва, як електропровідних компонентів в цементних системах усуває недоліки бетелів та істотньо розширює спектр електрофізичних властивостей, які притаманні бетонам електропровідним металонасиченим (бетел-м).

Бетел-м є провідниковим (резистивним) композиційним матеріалом із заданою електропровідністю. Він виготовляється з доступних вихідних компонентів.

На основі проведених вишукувань з розробки металонасичених цементних бетонів щільної, ніздрюватої та варіотропної структури сформульовані і обгрунтовані наукові положення, сукупність яких можна класифікувати як нове перспективне направлення в розробці електропровідних цементних композицій з поліфункціональними властивостями (рис. 1).

Види бетела-м і область його застосування.

Рис. 1.

Область застосування бетела-м визначає вимоги до сировинних матеріалів, технології його виробництва .

У відповідності з поставленими в роботі задачами досліджень, питання структуроутворення вирішуються, виходячи з функціонального призначення бетела-м. Він повинен мати ніздрювату макроструктуру для радіопоглинаючих екранів і щільну для захисних екранів від іонізуючого випромінювання. Низькотемпературні електронагрівачі з бетела-м повинни мати стабільні термомеханічні властивості до 150 °С. Температурні коефіцієнти лінійного розширення сталі та бетону від 0 до 150 °С практично співпадають (для бетону — $10\text{-}14 \cdot 10^{-6}$ °C^{-1}; для заліза — $12 \cdot 10^{-6}$ °C^{-1}). Наявність адгезії між цементним тістом та порошком сталі забезпечує можливість використання менш енергомістких технологій виробництва цементних електропровідних композицій для досягнення необхідної провідності в порівнянні з цементновуглецевими матеріалами.

Показана особлива роль провідникового компоненту у складі електропровідного бетону. Цей компонент повинен забезпечувати електропровідність і її стабільність, сприймати термічне навантаження, поскільки Джоулеве тепло виділяється в контактній зоні між частинками провідника, сприймати радіаційне випромінювання.

Існуючі припущення про те, що по мірі проходження електричного струму відбудеться спайка або окислення частинок провідника в бетелі-м і буде змінюватись електропровідність були спростовані нашими дослідженнями. Такі припущення мали б підставу в тому випадку, якби бетел-м використовувався з робочою температурою нагрівання 800–1000 °С и при цьому використовувались традиційні порошки заліза. Частинки сталі ШХ-15 покриті термостійкими плівками. Технологічний процес виробництва підшипників по суті ототожнює нанесення термостійких плівок на поверхню стальної стружки і називається в промисловому виробництві термічним оксидуванням.

При високих температурах абразивної обробки сталі створюються оксиди заліза, перший шар приблизно відповідає закисі заліза (FeO), другий — магнетиту (Fe_3O_4), третій — окису заліза (Fe_2O_3). Склад кожного шару може змінюватися, але самий високий вміст металу знаходиться на поверхні, яка саме ближче до металевої основи. Під гомогенною оксидною плівкою існує змішана зона металу та оксидів (табл. 1).

Таблиця 1

Товщина оксидних плівок на поверхні заліза

Температура нагріва, °С	225	300	325	500	600
Товщина плівки, Å	77-224	244-380	521-606	840-960	1800-2800

Висока термостійкість заліза забезпечується додаванням в його склад металів, що мають високе значення об'ємного коефіцієнту оксидації. Такими металами є нікель, хром, алюміній та інші. Вихідна сталь містить в своєму складі 1,5% хрому, 6–7% цинку та ін.

Другою важливою особливістю провідникового стального компонента є його висока корозійна стійкість. В меньший мірі така сталь піддається можливому окисленню. Із збільшенням вмісту хрома до 12,5–18% вона стає неіржавіючою.

Комплексні дослідження і аналіз використання на практиці композиційних матеріалів з заданими електрофізичними властивостями показали доцільність використання цементної зв'язки. Питомий електричний опір цементного каменя знаходиться в межах від 10^4 до $5 \cdot 10^7$ Ом·м і може досягати значень 10^9–10^{10} Ом·м, що по суті виключає вплив діелектричного в'яжучого на електропровідність композита. Електропровідність клінкерних мінералів, як і розчинність, зменшується у наступній послідовності: $C_3A > C_4AF > C_3S > C_2S$. Важливою властівістю діелектричної цементної зв'язки при виготовленні низькотемпературних електронагрівачів із бетела-м являється збільшення її теплопровідності (λ) і теплоємності (C) з підвищенням температури.

Відомі недоліки цементного каменю — гідрофільність, пористість, низька тепло- і температуропровідність — можуть бути покращені спеціальними технологічними прийомами (наприклад, пресуванням сумішей з високотемпературопровідними наповнювачами і невеликим вмістом води, пластифікацією, гідрофобізацією, герметизацією виробів та інше).

Діелектричний наповнювач сприяє створенню структури бетону, бере участь у процесах поглинання, розсіяння теплової енергії. Будучи компонентом гетерофазної системи він вносить свій вклад не тільки у міцносні властивості композита, але і в його еквівалентну

теплопровідність, теплоємність та інші властивості.

Як діелектричний наповнювач було використано кварцеві піски (вольський, дніпровський, глуховецький). Міцні гірські породи розміром від 0,14 до 5 мм, які здатні сприймати теплову та радіаційну дію без зміни своїх властивостей, придатні для виробництва металонасичених бетонів.

Не тільки склад сировинної суміші, але і умови твердіння металонасичених цементних композицій забезпечують відповідний фазовий склад новостворень. У процесі тепловологої обробки він представлений в основному низькоосновними гідросилікатами кальцію C-S-H, гідроалюмоферитами, гідроалюмінатами, гідроферитами, вільним вапном. Часткове або повне замінення води у складі C_3AH_6 і C_3FH_6 на SiO_2 приводить до створення твердих розчинів гідрогранатів або безводних гідрогранатів: C_3AS і C_3FS. Дуже важливо те, що C-S-H, як фаза, може включати різні побічні іони. Двоокис кремнію може заміщатися залізом, алюмінієм, сульфатом. В гексагональних пластинчатих гідроалюмінатах кальцію типу C_4AH_{19} окис алюмінію може заміщатися залізом або іншими трьохвалентними іонами.

Із збільшенням дозування металу, в тому числі і його оксидів, наявність у зв'язуючій речовині гідрогранатів, які містять залізо, поряд з поліпшенням властивостей виробів має також негативний вплив, який обумовлений високою основністю гідрогранатів. Основність гідросилікатів дорівнює приблизно одиниці, а основність гідрогранатів значно вища — 3 або 4. При одній і тій же кількості новостворень для кристалізації гідросилікатів потрібно значно менше CaO, ніж для гідрогранатів. В результаті збільшення частки гідрогранатів в складі гідратних новостворень значно менше кремнезему буде зв'язуватися у гідросилікати кальцію при гідротермальній обробці, що, в свою чергу, вплине на міцністні характеристики силікатних матеріалів.

Основним технологічним принципом отримання захисних бетонів від нейтронних випромінювань являється створення умов для синтезу залізовміщуючих новостворень цементного каменю з підвищеним вмістом хімічно-зв'язаної води. У відповідності з цим принципом доцільно для таких бетонів використовувати дисперсний окислений невідновлений провідниковий компонент. Хімічні процеси в зоні контакту в'яжучого і провідникового компоненту являються надзвичайно важливими при формуванні тих чи інших властивостей

матеріалу. Стандартні залізні порошки марки ПЖВ і ПЖР, або порошки сталі ШХ-15, очищені і відновлені, не впливають на фазовий стан новостворень цементного каменю незалежно від виду тепловологої обробки композицій. Особливість гідрогранатної фази полягає в тому, що її надзвичайно важко виявити за допомогою рентгено- і термограм. До початку 60-х років Калоусек та інші взагалі вважали, що при гідратації цементів не виникає ні C_3AH_6, ні гідрогранатної фази, але це означало визнати наявність нових фаз, в які могла входити велика кількість Fe_2O і Al_2O_3, тому більшість дослідників вважали таку думку необгрунтованою, що й підтвердилось в 60–70-х роках.

На рис. 2, 3 приведені термограми та рентгенограми автоклавованих цементних зразків без та з різним вмістом провідникового компонента та рентгенограма вихідного шлама (сталі) (рис. 4). Введення 2 % і більше добавки дисперсного порошка металу у цементний камінь суттєво не відобразилося на зміні його мінералогічного складу, що підтвержують результати ДТА (рис. 2 кр. а, б), тобто присутні гідроалюмінати, гідросульфоалюмінати, гель C-S-H, очивидно і алюмозалізовміщуючі гідрогранати, які дегітдратуються в інтервалі температур 100–300 °С; гідроксид кальцію — $Ca(OH)_2$ — різкий ендоефект з максимумом при температурі 530 °С та карбонати — подвійний ендоефект дисоціації в інтервалі температур 750–780 °С.

Різкі підйоми термічної кривої в інтервалі температур 300–400; 500–700 та 780–1000 °С вказують на наявність оксидів заліза (рис. 2 кр. г), які очевидно вуалізують екзоефекти рекристалізації високоосновних гідросилікатів кальцію при температурі 300–400 °С та низькоосновних гідросилікатів при температурі 800–900 °С (рис. 2, кр. в, г).

Мінерально-фазовий склад пропареного цементного каменю з добавками металевого порошку за даними ДТА та рентгеноструктурного аналіза, як і автоклавованих зразків, не фіксує суттєвих відмінностей у складі новостворень. Це пов'язано з тим, що провідниковий компонент, який відновлено у середовищі ендогазу при температурі 800 °С, через незначний вміст оксидів металу на поверхні металевої добавки, не може істотньо впливати на зміни фазового складу новостворень цементного каменю.

Особливо важлива роль при формуванні електропровідного бетона відводиться проміжній або "контактній" зоні між частинками провідника.

Термограми і рентгенограми автоклавованих цементних зразків

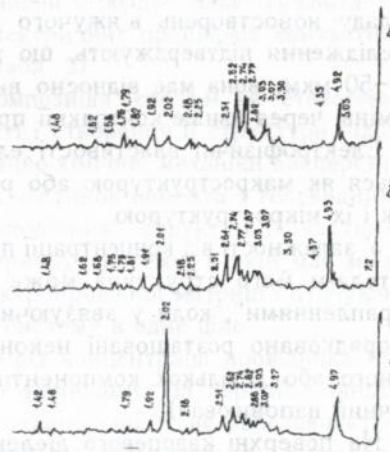

Рис. 2. а — контрольний зразок без добавки металевого шламу, б — 2%, в — 3%, г — 30%

Рис. 3. а — добавка 2%, б — добавка 10%, в — добавка 30%

Рентгенограми автоклавованих цементних зразків

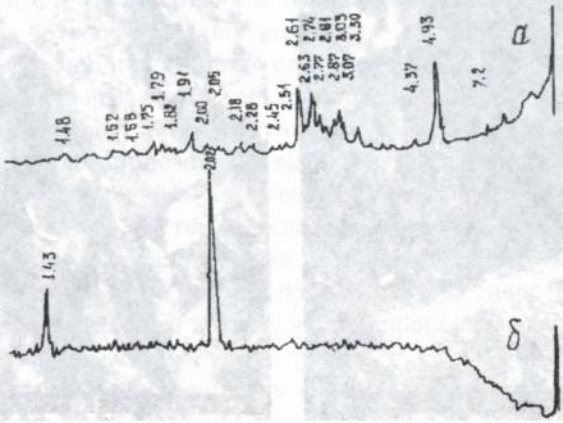

Рис. 4. а — цементний камень без добавки, б — металевий шлак.

У випадку використання цілковито неокисленого або повністю відновленого порошку металу, останній буде виконувати функції нереакційноздатного наповнювача у бетоні. Цементна зв'язка контактного шару метал-в'яжуче практично ідентична фазовому складу новостворень в'яжучого даної композиції. Багаточисельні дослідження підтверджують, що товщина контактної зони складає 30–50 мкм, вона має відносно високу пористість, як і цементний камінь, через явище контракції при гідратації в'яжучого.

Електрофізичні властивості електропровідних бетонів визначаються як макроструктурою або регулярністю трьохмірної матриці, так і їх мікроструктурою.

У залежності від концентрації провідникового компонента у складі бетела-м його структура може бути названа як "структура з вкрапленнями", коли у звязуючий цементній звязці хаотично або упорядковано розташовані неконтактуючи між собою включення одного або декількох компонентів (металевий провідник, діелектричний наповнювач).

На поверхні кварцевого діелектричного наповнювача розглядається гідросилікатний гель (рис. 5а), а на частинках металу у вигляді фібри та куль (рис. 5б) розміщена гідросилікатна маса.

Мікрошліф бетелового електронагрівача

Рис. 5а

Рис. 5б

Макроструктурою сформованого бетелу-м є чергування агрегатів цемента та продуктів їх гідратації, провідникового компоненту у геометрично правильній послідовності. Примусове ущільнення при пресуванні більш обезвожених сумішей збільшує кількість контактів та зменшує "пороговий" опір діелектричних прошарків контактних зон між частинками провідника (табл. 2).

У вихідному стані резистивна композиція бетела-м, як гетерогенна система, формує задані властивості і створення її структури підпорядковується закономірностям фізико-хімічної механіки дисперсних середовищ. Коагулування твердих частинок цемента з гелевидними оболонками і створення "твердоподібних" структур із частинок металевого порошку створює матричну систему, в якій має місце взаємне проникання ланцюгів електропровідної матриці і оточуючої її гелевидної матриці, поєднуючої систему в одне ціле.

Встановлено, що залежність ρ від концентрації провідника ($\delta_п$) характеризується 4 характерними ділянками. На першій ділянці з недостатньою $\delta_п$ при данній його дисперсності не забезпечується створення електропровідної матриці і ρ визначається електропровідністю мінерального в'яжучого. Із збільшенням дисперсності провідника довжина цієї ділянки зменшується. На другій ділянці ймовірність створення електропровідної матриці збільшується, але ρ має випадковий характер. Залежність ρ від $\delta_п$ є надзвичайно суттєвою, але матеріал не може мати стабільні електрофізичні властивості. Для третьої ділянки характерна критична концентрація провідника ($\delta_п = \delta_{кр}$), названа в теорії протікання "порогом протікання". На четвертій ділянці має місце відповідність основним положенням теорії протікання, створюються умови забезпечення стабільної і відтворювальної електропровідної матриці при $\delta_п > \delta_{кр}$.

Проведені досліди та розрахунки показали, що на електропровідності цементних композицій не відображується природа провідника (вуглецевий, металевий). Характер кривих залежності питомого опору гетерогенних систем бетела та бетела-м від концентрації, розміру частинок провідної фази ідентичний. Достатньо високу ступінь прогнозування електропровідних властивостей бетонів забезпечує математичний апарат, який запропоновано В.С. Гальперіним та В.І. Оделевським.

У загальному вигляді міцність електропровідного бетону може бути виражена :

$$R_б = AR_ц(1 \pm \delta_п) \qquad (1)$$

Таблиця 2

Залежність ρ цементно-металевих композицій від вмісту металу і тиску пресування.

Вміст металу від цементу, %	Тиск пресування, МПа			
	1,0	2,0	3,0	4,0
30	$\frac{70 \cdot 10^6}{7,85}$	$\frac{70 \cdot 10^6}{7,85}$	$\frac{70 \cdot 10^6}{7,85}$	$\frac{70 \cdot 10^6}{7,85}$
40	$\frac{70 \cdot 10^6}{7,85}$	$\frac{102 \cdot 10^4}{6,01}$	$\frac{815 \cdot 10^3}{5,91}$	$\frac{605 \cdot 10^3}{5,78}$
50	$\frac{142 \cdot 10^4}{6,15}$	$\frac{824 \cdot 10^3}{5,92}$	$\frac{317 \cdot 10^3}{5,5}$	$\frac{280 \cdot 10^3}{5,45}$
60	$\frac{340 \cdot 10^3}{5,53}$	$\frac{210 \cdot 10^3}{5,32}$	$\frac{39,8 \cdot 10^3}{4,6}$	$\frac{31 \cdot 10^3}{4,49}$
70	$\frac{104 \cdot 10^3}{5,02}$	$\frac{96 \cdot 10^3}{4,98}$	$\frac{17,1 \cdot 10^3}{4,23}$	$\frac{12 \cdot 10^3}{4,08}$
80	$\frac{84 \cdot 10^3}{4,92}$	$\frac{47 \cdot 10^3}{4,67}$	$\frac{2,26 \cdot 10^3}{3,35}$	$\frac{1,9 \cdot 10^3}{3,28}$
90	$\frac{58 \cdot 10^3}{4,76}$	$\frac{24 \cdot 10^3}{4,38}$	$\frac{1,06 \cdot 10^3}{3,03}$	$\frac{942}{2,97}$
100	$\frac{20,3 \cdot 10^3}{4,31}$	$\frac{1,2 \cdot 10^3}{3,08}$	$\frac{356}{2,55}$	$\frac{312}{2,49}$
110	$\frac{5,8 \cdot 10^3}{3,76}$	$\frac{948}{2,98}$	$\frac{214}{2,33}$	$\frac{154}{2,19}$
120	$\frac{1,6 \cdot 10^3}{3,2}$	$\frac{542}{2,73}$	$\frac{82,9}{1,92}$	$\frac{65,4}{1,82}$

Примітка: *чисельник — питомий опір, Ом•м, знаменник — lg ρ*

де $R_ц$ — міцність цементного каменю;

А — імперичний коефіцієнт, який враховує технологічні фактори виробництва бетону;

$\delta_п$ — концентрація провідника.

Знаки "±" означають зниження міцності бетону, оскільки величина $\delta_п$ відображує умовну пористість (вуглецевий провідник) системи та збільшення міцності при наявності металевого провідника за рахунок ефекту мікронаповнювача (мікрофібри).

Конкретні металонасичені суміші, як і ті, що містять вуглець, незалежно від виду тепловологої обробки мають яскраво виражену тенденію до зниження міцності матеріалу по мірі збільшення дозування провідникового компонента (рис. 6).

Вплив концентрації провідника на міцність бетелу

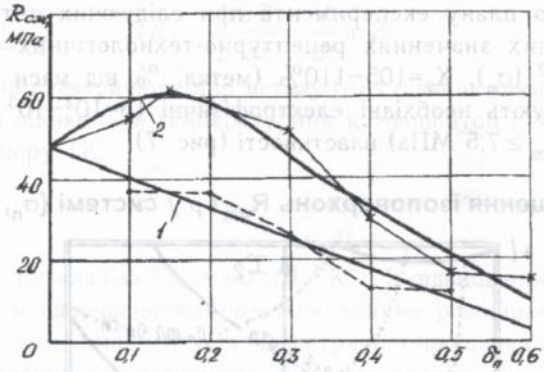

Рис. 6. 1 — бетел, 2 — бетел-м.

Зміна ширини зазору між частинками провідника приводить до зменшення провідності матеріалу (табл. 3). При прикладанні напруги до бетела-м, струм буде проходити через місця безпосереднього зіткнення або через прошарки, які співрозмірні по товщині з довжиною вільного пробігу електронів. Поверхня частинок провідника містить багато виступів з різною площиною контакту та товщиною, і кожній величині зазору відповідає певна різниця потенціалів, при якій почнеться автоелектронна емісія.

Оптимальним способом формування низькотемпературних бетелових електронагрівачів являїться статичне пресування в декілька

Таблиця 3

Залежність ρ металевого наповнювача від способу його ущільнення

Вільно укладений порошок	Спосіб ущільнення				
	вібрація	пресування, кгс/см^2			
		1	2	15	20
$1{,}02 \cdot 10^6$	$9{,}6 \cdot 10^4$	596,34	78,14	5,1	3,9

ступенів з вистоянням суміші під тиском до стабілізації структури (а.с. 1568410, 1752730, 1795634). Забезпечення комплекса заданих властивостей при мінімальному тиску пресування реалізовано за допомогою системи COMPEX у вигляді різнорівневого (3x4) симетричного плану експеримента при слідуючих оптимальних найважливіших значеннях рецептурно-технологічних факторів: X_1=20 кг/см^2 ($\sigma_п$), X_2=105–110% (метал, % від маси цементу), які забезпечують необхідні електрофізичні ($\rho=10^2-10^3$ Ом·см) і механічні ($R_{сж} \geq 7{,}5$ МПа) властивості (рис. 7).

Суміщення ізоповерхонь $R_{сж}$ і ρ у системі {$\sigma_п$, δ}

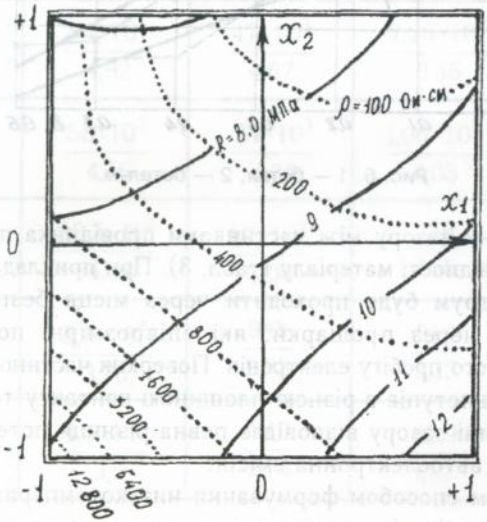

Рис. 7

У випадку невідповідності теплового балансу між кількістю тепла, яке виділяється, і теплом, що відводиться назовні резистивним нагрівачем, подальше підвищення температури приводить до перегріву та можливого пробою діелектричного прошарку. Через це електронагрівачі з бетелу-м в обов'язковому порядку оснащуються біметалевими або електронними терморегуляторами, іншими вимикаючими улаштуваннями.

З підвищенням температури провідника струму кінетична енергія електронів, які вільно рухаються, буде зростати та електропровідність металевого провідніка струму буде знижуватися, а у діелектриків - навпаки.

Температурний коефіцієнт (ТК) якого-небудь параметра (Z) матеріалу по суті є логарифмічною похідною цього параметра за температурою:

$$TK_Z = \frac{1}{z}\frac{dZ}{dt} = \frac{d}{dt}\ln Z \qquad (2)$$

Питомий електричний опір металу (ρ) з підвищенням температури зростає та оцінюється температурним коефіцієнтом питомого електричного опору TK_ρ:

$$TK_\rho = \frac{1}{\rho}\frac{d\rho}{dt} \qquad (3)$$

Для чистого заліза $TK_\rho = 60 \cdot 10^{-4}\ K^{-1}$. З підвищенням температури бетелу-м одночасно відбувається лінійне розширення частинок провідникового компоненту та діелектричної прошарки і виявляється дія температурного коефіцієнта лінійного розширення TK_l:

$$TK_l = \frac{1}{l}\frac{dl}{dt} \qquad (4)$$

Він буде відображати підвищення електропровідності металевої матриці або зниження опору матеріалу за рахунок зменшення зазорів між частинками провідника.

Для чистих металів $TK_l < TK_\rho$ ($12 \cdot 10{-}6 < 60 \cdot 10^{-4}$), а для сталей в електротехниці прийнято вважати їх приблизно рівними. Вони як би нейтралізують одне одного. В стандартному електронагрівачеві при підвищенні його температури проявляється дія температурних коефіцієнтів декількох параметрів матеріалу, в результаті змінюється його електричний опір.

Зміна загального опору стандартного електронагрівача в залежності від температури

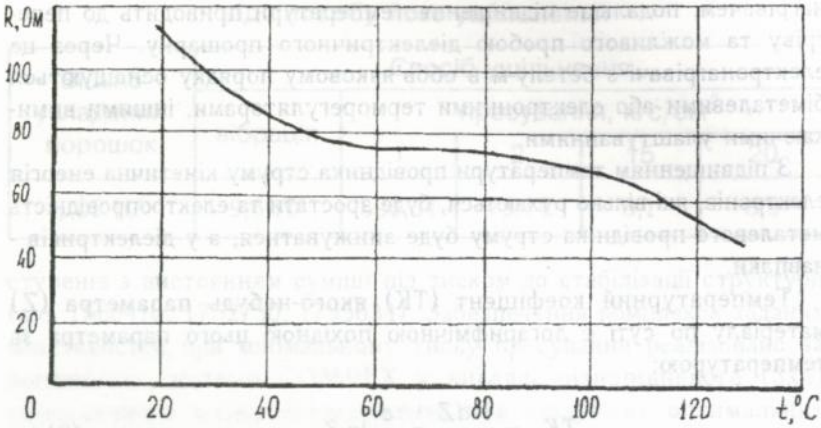

Рис. 8

Температуропровідність (a) характерізує швидкість розповсюдження (вирівнювання) температури в різних точках середовища, що є досить важливою властивістю електропровідного бетона при використанні його як електронагрівача.

$$a = \lambda / C \qquad (5)$$

де λ — теплопровідність, C — теплоємність.

Для сталі вона складає $2{,}1 \cdot 10^{-5}$ м/с, а цементного каменю приблизно в 40 разів менше, що забезпечує довговічність електронагрівачам з бетела-м в порівнянні з нагрівачами, які містять вуглець. З підвищенням щільності електропровідного бетону збільшується і його температуропровідність.

Дослідження електропровідності виявили суттєву відмінність в формуванні електропровідної матриці бетелу з використанням металевого провідника на відміну від вуглецевого. Показано, що при застабілізованих технологічних показниках і однаковому ρ композицій для металонасичених $\sigma_п$ = 2–4 МПа, а для вуглецевих — 7–9 МПа. Залежність ρ від об'ємної концентрації провідника має вигляд $\rho = c\delta^A$ і не залежить від природи провідникового компоненту. Прогнозування основних властивостей бетела-м за допомогою системи рівнянь міцності, удобоукладальності, баланса мас (фіз.-аналіт. метод проф. В.М. Пунагіна), доповнений рівнянням електропровідності, забезпе-

чує сходимість результатів випробувань при стабільності інших технологічних параметрів і високій культурі виробництва. Складність розробки єдиної універсальної методики проектування бетелів пов'язана насамперед із впливом на електрофізичні властивості бетону статичного пресування, виду тепловологої обробки та широкого спектру поліфункціональних властивостей, при яких основні рівні технологічних факторів не співпадають з їх варіантами для різних крітеріїв.

Промислова технологія виробництва нагрівальних панелей передбачає наявність насосної станції, вантажепоршневого акумулятора, який настроєний на підтримку в гідросистемі стабільного робочого тиску, необхідного для пресування виробів та витримки їх в обтиснутому стані, касетні пристрої.

До загальної напорної магістралі за допомогою транспортних трубопроводів та кранових розподільників підключаються окремі споживачі - влаштування, які призначені для пресування. Тиск робочої рідини, який створюється у напорній магістралі, впливая на еластичну мембрану, здійснює рівномірне статичне обтиснення формованого виробу із струмовідводами. По мірі завершення процедури пресування кожне окреме влаштування від'єднується від постачальної гідросистеми без порушення цієї процедури в решти (рис. 9, 10).

Технологічний процес виробництва нагрівальних панелей умовно передбачає п'ять головних етапів (ділянок). На першому етапі відбувається приготування суміші, на другому здійснюється укладка суміші у касети та влаштування струмовводів, порожнечостворювачів для терморегуляторів, потім касети поступають на пост пресування. Після цього відбувається тепловолога обробка виробів, розпалубка, чистка, змазчування касет.

Після тепловологої обробки вироби витримують до досягнення відповідної заданої міцності, потім просушують у два етапи при температурі 60 та 150 °С , встановлюються терморегулятори, які з'єднані проводами та наносяться електроізоляційні та декоративні покриття.

Приготування електропровідної суміші, яка має високу в'язкість у порівнянні із звичайними бетонами, виробляється у швидкісних змішувачах примусової дії.

Основні технічні вимоги до якості та технології виробництва нагрівальних панелей приведено у ТУ 37.567.001-92 "Блоки з

Технологічна схема виробництва електронагрівачів

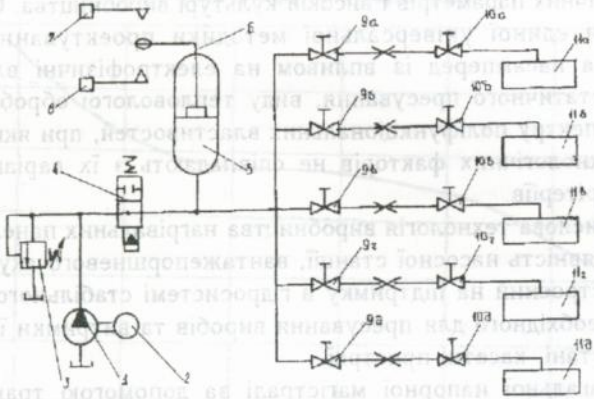

Рис. 9. 1 — насос; 2 — привідний двигун; 3 — запобіжний клапан; 4 — гідророзподільчий елемент; 5 — грузопоршневий акумулятор; 6 — шток; 7, 8 — кінцеві вимикачі; 9а–9д і 10а–10д — кранові розподілювачі; 11а–11д — пристосування для пресування.

Влаштування для пресування електронагрівачів

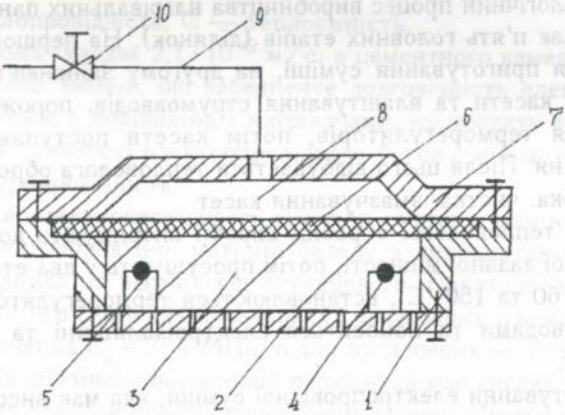

Рис. 10. 1 — корпус; 2 — нижня основа з дренажними отворами; 3 — тіло електронагрівача; 4, 5 — електроди; 6 — еластична мембрана; 7 — верхня кришка; 8 — робоча камера.

електропровідного бетону".

Найбільші перспективи для використання такі нагрівачі мають для опалення житла та влаштування термоактивних підлог для тваринницьких приміщень.

Більшість домашніх тварин народжується з недосконалою системою терморегуляції. До 40–45 % енергії від споживаємих кормів у них витрачається на підтримку температури тіла, що негативно впливає на приріст маси тварин та підвищує їх захворювання. Віддача тепла у підлогу для рогатої худоби 125–134, молодняка — 110–120 та поросят — 59 Вт/м^2. У зв'язку з цим температура підлоги згідно норм для поросят у ранньому віці повинна бути 28–32 °С , а для курчат 1–4 тижні — 35–40 °С , наступні 5–11 тижнів — 35 °С. Саме через незадовільні умови утримування молодняку щорічно гине у початковий період 20-30 % та більше виробляємих в країні птахів та тварин.

Промислове випробування термоактивних підлог, що влаштовано у 1991–1993 роках в фермерському господарстві м. Білгород-Днестровська (Одеська область) та господарствах Віінницької області підтвердили їх високу ефективність. Площа підлоги, яка обігрівається, на один станок 1,0–1,5 м^2, температура поверхні підлоги 30 °С ± 2. Загальна потужність на свинарник-маточник на 120 станків складає 40–50 кВт, а з урахуванням коефіцієнта використання електроенергії — 20–25% від його розрахункової потужності.

Бетел-м, як електропровідний матеріал, може бути використаний при рішенні таких інженерних задач, як захисне та робоче заземлення, занулення, блискавкозахист, захист від статичної електрики (а. с. 1641958, 1754751).

Антистатичний елемент підлоги виконується у вигляді квадратної плити із електропровідного бетону з провідниками, які заземляють, бік квадрату рівний від 150х150 до 300х300 мм при товщині плити 20–30 мм. Через центр квадрату у двох напрямках пропущено два взаємоперпендикулярних заземляючих металевих провідника. Швидкість розсіяння електричного заряду з тіла людини при влаштуванні підлог складає $3{,}75 \cdot 10^{-12}$ сек. Таке швидке розсіяння зарядів дозволяє повністю виключити вплив статичної електрики на організм людини, а також виключає іскростворення в результаті можливого накопичення статичної електрики.

Металонасичений бетон має властивості гідратних бетонів через

підвищений вміст у його складі гідрогранатів та силікатів, які містять залізо, і хімічно зв'язаної води (водню). Крім того, він містить і важкі елементи, які є в сталі, що забезпечує йому високі захисні властивості від іонізуючих та непрямоіонізуючих випромінювань.

Вплив кількості водню в матеріалі захисту на його розміри суттєво залежить від виду спектру випромінювання, яке падає на захисний екран. Із збільшенням "жорсткості" спектра, тобто із зростанням відносної кількості високоенергетичних частинок у загальному потоці випромінювання, значення водню (хімічно зв'язаної води) стає менш значним. З підвищенням щільності матеріала захисту вплив водню на розміри товщини захисту стає більш помітним.

Значення водню особливо суттєво у тяжкому захисті. Зокрема, оптимальні залізогідратні захисні композиції у порівнянні із захистом із сталі більш тонкі і значно економніші.

Гідратовані клінкерні мінерали портландського цементу C_3S та C_2S після опромінення у реакторі втрачають значну кількість води і їх залишковий водовміст складає відповідно 0,053 та 0,033 г/г цем. каменю, а водовміст опромінених мінералів C_3A та C_4AF у 2-6 раз вище, ніж у C_3S та C_2S.

Екрануючі елементи з бетелу-м пазогребневої конструкції будуть використані для зниження гама-фону приміщень, які побудовано раніше з використанням будівельних матеріалів з підвищеною концентрацією природних радіонуклидів (ПРН). До них належить віднести поперед всього радій-226, торій-232 та калій-40.

Величина сумарної питомої активності ПРН у будівельних матеріалах забезпечує підвищений рівень потужності експозиційної дози (ПЕД) зовнішнього гама-випромінювання у приміщеннях: ПЕД згідно Українських РСН 356-91 у середині будинків, які проектуються, будуються, не повинні перевищувати 30 мкР/г, а для експлуатуємих — не більше 50 мкР/г. Більше 50% теріторії України розташовано на кристалічному щиті з наявністю великих родовищ нерудних матеріалів (граніти, лабрадоріти, габбро, мармур, вапняки та ін.), де розвернуто виробництво будівельних матеріалів та виробів. Це обумовлює винос ПРН та підвищення потужності дози гама-випромінювання усередині та зовні приміщень в ряді районів республіки, що значно перевищує рівень цього показника в колишньому СРСР.

Радіаційний фактор житла та інших приміщень розглядається як

один з основних видів впливу навколишнього середовища на населення, так як людина проводить більшу частину свого часу у приміщенні. Результати порівняних випробовувань властивостей сталі, бетону та бетелу-м приведені на рис. 11 і 12.

Вплив типу екрануючих матеріалів на зниження дози гамма-випромінювань

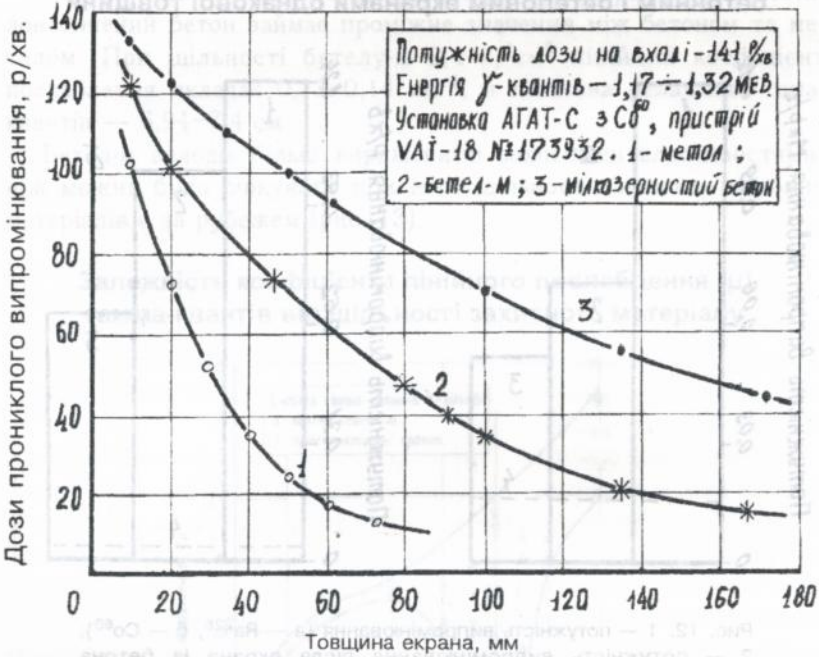

Рис. 11.

Потужність дози гама-випромінювання на вході в матеріал складала 141 Р/хв, енергія гама-квантів — 1,17–1,32 МеВ, потужність дози на виході з матеріала реєструвалася приладом VAJ-18, джерело випромінювання - установка АГАТ-С, яка використовується у медичних цілях. Щільність бетелу-м — 2,21; цементного каменю — 2,15; сталі — 7,87 г/см^3.

Природній гама-фон 0,015 мкР/г (рис. 12, поз. 4) додатково накладувався при виконанні замірів потужності випромінювання

джерела та випромінювання, яке пройшло скрізь екран (показано пунктиром). Характеристика джерел: Ra-226, активність — $2{,}24 \cdot 10^4$ Бк або $6{,}02 \cdot 10^{-7}$ Ku; Co-60, активність — $1{,}71 \cdot 10^5$ Бк або $4{,}6 \cdot 10^{-6}$ Ku. Джерело випромінювання, екрануючий елемент та детектор виставлялися в одну лінію без відносу.

Відносне зменшення потужності дози γ-випромінювання бетонним і бетеловим екранами однакової товщини

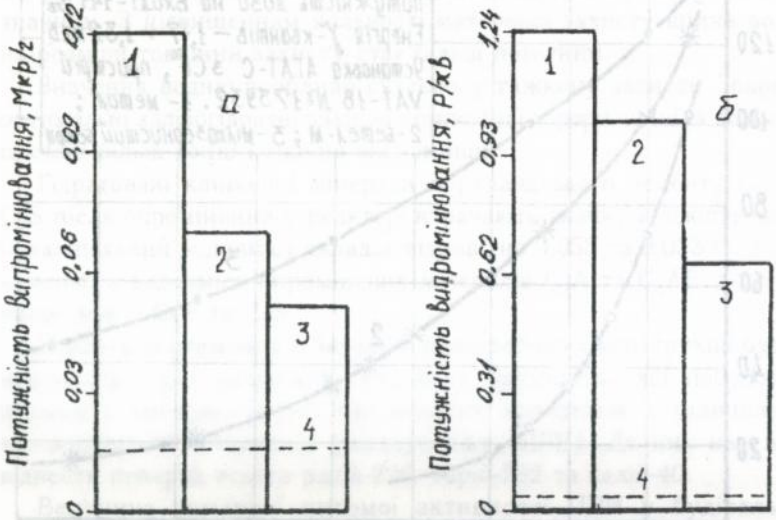

Рис. 12. 1 — потужність випромінювання (а — Ra^{226}, б — Co^{60}); 2 — потужність випромінювання після екрана із бетона (d=4,25 см, γ=2,25 г/см^3); 3 — потужність випромінювання після екрана із бетела-м (d=4,3 см, γ=2,3 г/см^3)

При проходженні електромагнітної хвилі у середовищі її амплітуда зменшується експоненціально. Це пояснюється тим, що струми, які індуцюються у середовищі, викликають омічні втрати і, як наслідок, нагрів речовини.

Для електромагнитної хвилі, що падає на цементно-металеву або металеву поверхню, існує два основних види втрат. Хвиля частково відбивається від поверхні, а заломлена (невідбита) по мірі розповсюдження у середовищі послаблюється.

Загальна ефективність екранування матеріалу дорівнює сумі втрат на поглинання $K_{погл.}$, відбивання $K_{відб.}$ та коректуючого коефіцієнта $K_{б.відб.}$, який враховує багаторазове відбивання.

Особливістю структури бетела-м є те, що наявність провідникової матриці приводить до того, що збуджуюче поле наводить у провіднику струм, який, у свою чергу, — поле протидії, яке компенсує усередині екрана збуджуюче поле.

По захистним властивостям від іонізуючих випромінювань металонасичений бетон займає проміжне значення між бетоном та металом. При щільності бетелу-м 2,4 г/см^3 лінійний коефіцієнт послаблення складає 0,13–0,14 см$^{-1}$, а довжина релаксації гама-квантів — 6,94–7,4 см.

Бетел-м володіє більш вираженими захисними властивостями, ніж можна було очікувати при його щільності, аналоги подібних матеріалів є за рубежем (рис. 13).

Залежність коефіцієнта лінійного послаблення (μ) гамма-квантів від щільності захисного матеріалу

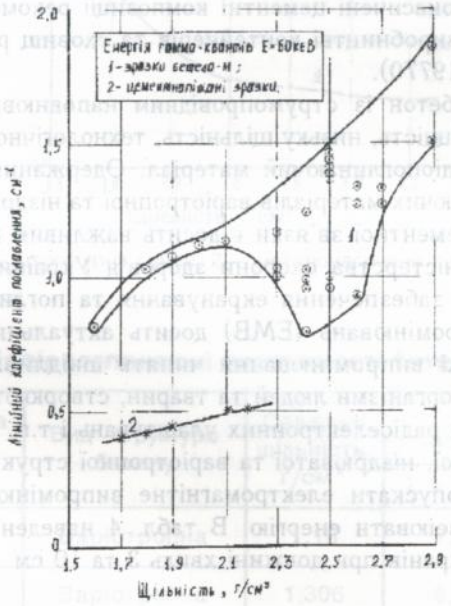

Рис. 13

Причина вказаного захисного ефекту не обгрунтована теоретично, але загальним для таких композицій є наявність в їх складі високодисперсного металу. Припущення щодо підвищених захисних властивостей бетелу-м, при тій же щільності, як і звичайного бетону, можуть бути зведені до слідуючого: поскільки у відповідності з законами квантової механіки, гама-випромінюванню (електромагнітному випромінюванню) одночасно притаманні корпускулярні та хвильові властивості, то при наявності в складі захисних матеріалів металевого наповнювача з високою питомою поверхнею, штучно подовжується шлях елементарних псевдочастинок електромагнітного випромінювання. Електропровідна матриця перешкоджає проходженню електромагнітних хвиль. За допомогою дисперсії металу в мінеральному в'яжучому і великої площини границі розділу фаз відбувається багаторазове заломленя хвиль та розсіяння енергії.

При відсутності в Україні баритових пісків металонасичені бетони використовуються як екрануючі елементи або штукатурні розчини в рентгенкабінетах або інших подібних приміщеннях, де використання металу за естетичними та економічними міркуваннями неефективно (рис. 14). Металонасичені цементні композиції рекомендовано для використання у виробництві контейнерів та сховищ радіоактивних відходів (а. с. 1819770).

Ніздрюватий бетон із струмопровідним наповнювачем має достатньо високу міцність, низьку щільність, технологічно легко трансформується у радіопоглинаючий матеріал. Одержання радіопоглинаючих та екрануючих матеріалів варіотропної та ніздрюватої структури на основі цементної зв'язки є досить важливим питанням. За заключенням Міністерства охорони здоров'я України екологічний аспект проблеми забезпечення екранування та поглинання електромагнітних випромінювань (ЕМВ) досить актуальний та погано вирішуємий. Такі випромінювання чинять шкідливий вплив на рослинний світ і організми людей та тварин, створюють перешкоди при роботі різних радіоелектронних улаштувань і т.п.

Бетел-м щільної, ніздрюватої та варіотропної структури здатний не тільки не пропускати електромагнітне випромінювання, але і поглинати та розсіювати енергію. В табл. 4 наведено результати випробовувань екранів при довжині хвиль 3 та 10 см.

Залежність товщини шару половинного послаблення від щільності штукатурки при потужності гамма-квантів 60 кеВ

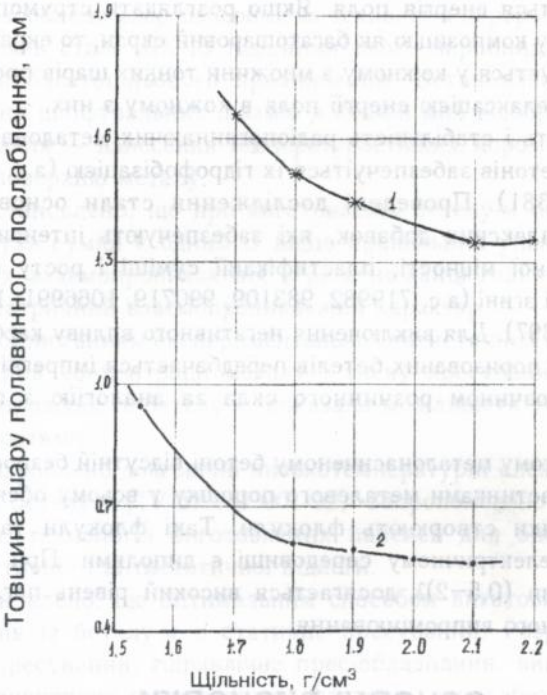

Рис. 14. 1 — штукатурна суміш; 2 — металонасичена штукатурна суміш.

Таблиця 4

Радіопоглинаючі властивості бетела-м

№ п/п	Товщина екрана, мм	Вид структури бетону	Середня щільність, г/см³	Коефіцієнт поглинання, дБ	
				λ = 3 см	λ = 10 см
1	30	Варіотропна	1,18	7,3	13,5
2	30	Варіотропна	1,306	6,7	12,5
3	30	Ніздрювата	1,13	9,5	9,5

На границі розділу фаз металева частинка-кристалогідрат цементного каменю створюється подвійний електричний шар, який володіє місткістю. Зовнішні поля викликають перезарядку структури, яка протікає у формі релаксації заряду на емності з втратами, на якій і розсіюється енергія поля. Якщо розглядати струмопровідну металоцементну композицію як багатошаровий екран, то екранування ЕМВ забезпечується у кожному з множини тонких шарів провідника послідовно з релаксацією енергії поля в кожному з них.

Довговічність і стабільність радіопоглинаючих металонасичених ніздрюватих бетонів забезпечуїться їх гідрофобізацією (а.с. 643456, 654904, 1659381). Проведені дослідження стали основою для розробки комплексних добавок, які забезпечують інтенсифікацію росту пластичної міцності, пластифікації суміші і росту міцності при стисненні і згині (а.с. 719982, 983109, 990719, 1066991, 1618742, 1636378, 1611897). Для виключення негативного впливу карбонізації на властивості поризованих бетелів передбачається імпрегнірування їх поверхні розчином розчинного скла за аналогіїю з плитами СИЛАКПОР.

В ніздрюватому металонасиченому бетоні відсутній безпосередній контакт між частинками металевого порошку у всьому обсязі, хоча окремі частинки створюють флокули. Такі флокули та окремі частинки в діелектричному середовищі є диполями. При відстані між частинками $(0,5-2)\lambda$ досягається високий рівень поглинання електромагнітного випромінювання.

ОСНОВНІ ВИСНОВКИ

1. Розроблено і досліджено новий вид електротехнічних матеріалів — бетон електропровідний металонасичений (бетел-м) з широким спектром електрофізичних властивостей і підвищеними фізико-механічними характеристиками.

2. Сформульовано вимоги до компонентів бетелу-м. Використання цементного в'яжучого значно спрощує технологію виробництва, діелектричний наповнювач — кварцевий пісок — характеризується високою механічною міцністю, термо- і радіаційною стійкістю, забезпечує упорядкування і створення макроструктури бетелу-м. Металевий компонент — стандартні залізні порошки (ПЖВ) або порошки сталі ШХ-15, на відміну від вуглецевих порошків у складі широко

відомих бетелів, мають адгезію до цементного тіста і при нагріванні не вигорають, термостійки до 500 °С, коефіцієнти температурного лінійного розширення при нагріванні до 200 °С для сталі і цементного каменю співпадають.

3. Розроблено енергозберігаюча технологія переробки шліфувальних шламів сталі ШХ-15 підшипникового виробництва в металеві порошки багатоцільового призначення. Встановлено, що процес створення шліфувальних шламів в певній мірі відображує термічне оксидування — нанесення температуростійких, корозійностійких плівок на поверхню металу.

4. Встановлено, що при виготовленні бетелу-м після перемішування суха суміш є одним із видів правильних упаковок агрегатів для двох взаємопроникаючих агрегатно-ланцюгових структур, які мають матричний взаємопроникаючий характер.

З використанням експериментально-статистичних моделей визначено вплив концентрації металу і тиску пресування на міцність, електропровідність бетелу-м, показана можливість управління його властивостями.

5. Розроблено довговічні низькотемпературні електронагрівальні панелі з бетелу-м (ТУ 37.567.001-92). Запропоновано конструктивні рішення, технологія виготовлення панелей для опалення житла, термоактивної і антистатичної підлоги.

Встановлено, що оптимальним способом виготовлення електронагрівачів із бетелу-м є статичне пресування. Розроблено новий спосіб пресування, гідравлічне прес-обладнання, виконано оптимізація рецептурно-технологічних факторів, які забезпечують отримання стандартних нагрівальних панелей з необхідним питомим опором 10–1000 Ом•м, розміром 400x400x25 або 400x600x25 мм при мінімально достатньому тиску пресування до 2МПа.

6. Фізико-хімічними дослідженнями встановлено, що металевий компонент не приводить до суттєвих змін фазового складу новостворень цементного каменю, при наявності на поверхні металу Fe_2O_3 виникають залізовміщуючі гідросилікати кальцію і гідрогранати. В процесі гідротермальної обробки бетелу-м Fe_2O_3 заміщає в структурі гідросилікатів SiO_2. Гідратовані алюмоферитні новостворення вміщують в 2,7–4,7 рази води більше, ніж силікати кальцію. За даними електронної мікроскопії цементний гель пресованих зразків представлений голковидними витянутими кристалами, а для литих сумішей більш характерні пластинчатої і листкової форми.

7. Показано, що в бетелі-м сполучаються функції захисних залізоводних конструкцій, в яких метал "гасить" γ-випромінювання, водень у вигляді хімічно зв'язаної води -нейтронні потоки. За захисними властивостями від γ-випромінювання бетел-м знаходиться між будівельним бетоном і залізом.

В цілому, підпорядковуючись експоненціальному закону і залежності захисних властивостей матеріалів від їх щільності з зменшенням енергії γ-квантів ефективність захисту бетелу-м збільшується більше, ніж можна було б очікувати при даній щільності. Так, при щільності 2,2–2,4 г/см^3 лінійний коефіцієнт ослаблення 0,13–0,14 см$^{-1}$, довжина релаксації γ-квантів 6,9–7,4 см. Для енергії γ-квантів до 100 кеВ товщина екрану із бетелу-м в 2–3 рази менше, ніж з будівельного бетону при однаковій їх щільності і рівні захисту.

8. На основі досліджень виявлено закономірності саморуйнування низькотемпературних електронагрівачів. Відказ (пробій) електронагрівача із бетелу-м проходить в результаті втрати діелектричних властивостей цементної зв'язки при температурі близько 500 °С, лавиноподібного зростання струму і виділення тепла.

9. Розробки, приведені в роботі, і практичні заходи з економії матеріальних і енергетичних ресурсів при розробці нового виду електропровідного бетону впроваджені на підприємствах декількох областей республіки.

Показана ефективність використання бетелу-м для виготовлення довговічних електронагрівачів, рентгенштукатурок, антистатичної підлоги, радіопоглинаючих екранів і захисних екранів від іонізуючих електромагнітних випромінювань.

Діпрохіммашем розроблено проект цеху для виготовлення металевого порошка (ТУ 555.М.В 14344430.023-93) низькотемпературних електронагрівачів (ТУ 37.567.001-93) на Вінницькому ВАТ Підшипниковий завод. Постановою Кабінету Міністрів України № 110 від 23 лютого 1994 року за рахунок бюджету виділено на будівництво цеху 10,5 млрд. крб., у 1995 році інноваційним фондом України виділено ще 30 млрд. крб. на продовження будівництва.

ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЇ ВІДОБРАЖЕНО В НАСТУПНИХ РОБОТАХ:

1. Сердюк В.Р. Бетон электропроводный металлонасыщенный. — Винница: Континент, 1993. — 239 с.

Особистий внесок 100%.

2. Ройзман П.А., Куатбаев К.К., Сердюк В.Р. Изучение эффективности термопластичных гидрофобных добавок в автоклавных силикатных материалах// Тр. ин-та/ ВНИИСтром. 1978. № 15. С. 27–32.

Здобувач експериментально підтвердив ефективність нової методики. Особистий внесок 30%.

3. Ройзман П.А., Сердюк В.Р. Гидрофобизация ячеистого бетона// Реферативная информация. Сер. Промышленность автоклавных материалов и местных вяжущих. — ВНИИЭСМ, 1978. — Вып. 10. — С. 7–8.

Здобувач зробив дослідження впливу нової добавки на водопоглинаючі властивости ніздрюватого бетону. Особистий внесок 50%.

4. Сердюк В. Р., Ратушняк О. Г., Наконечна О. В. Особливості радіаційного фактору в процесі будівництва житла в Україні// Вісник ВПІ. — Вінниця. — 1995. — № 2. — С. 17–20.

Здобувач запропонував план, прийняв участь у редагуванні статті. Особистий внесок 35%.

5. Несен Л.М., Сердюк В.Р., Христич О.В. Моделювання та оптимізація рецептурно-технологічних факторів отримання нагрівачів із цементно-шламових композицій// Вісник ВПІ.— Вінниця.— 1995.—№ 3. — С. 9–11.

Здобувач запропонував план досліджень. Особистий внесок 35%.

6. Сердюк В.Р., Куатбаев К.К., Сытина Б.Т. Использование побочных продуктов химической промышленности для гидрофобизации ячеистого бетона// Улучшение технологических и эксплуатационных свойств строительных материалов и конструкций. — Караганда: КПТИ, 1984. — С. 84–88.

Здобувач зробив дослідження впливу відходів на гідрофобізацію ніздрюватих бетонів. Особистий внесок 40%.

7. Сердюк В.Р., Ромазанов В.А. Использование побочных продуктов коксохимического производства в технологии тяжелых бетонов// Промышленные отходы и создание безотходных техно-

логических процессов в строительстве. — Алма-Ата: ААСИ, 1985.— С. 186–189.

Здобувач запропонував план досліджень. Особистий внесок 50%.

8. Сердюк В.Р., Седых Ю.И., Слободянюк А.А. Термоактивные полы// АПК: наука, техника, практика. — 1990.— № 1. — С. 39.

Здобувач запропонував конструкцію термоактивною підлоги. Особистий внесок 40%.

9. Сердюк В.Р., Ноговицина Л.И. Оценка радиоактивности золошлаковых отходов и композиционных материалов на их основе // Строительные материалы.— 1991. — № 1. — С. 17–18.

Здобувач прийняв участь в оцінці радіоактивності золошлакових відходів. Особистий внесок 60%.

10. Сердюк В.Р., Несен Л.Н. Цементные композиционные материалы с композиционной матрицей// Строительные материалы и конструкции.— 1993.— N 1.— С. 5–6.

Здобував запропонував використовувати металевий наповнивач в електропровідних бетонах. Особистий внесок 50%.

11. Сердюк В.Р., Несен Л.Н. Полифункциональные свойства ячеистых бетонов // Строительные материалы и конструкции.— 1993.— № 2.— С. 36–37.

Здобувач висветлил багатофункціональні електрофізичні властивости ніздрюватого бетону. Особистий внесок 70%.

12. Меркин А.П., Сердюк В.Р., Несен Л.Н. Металлонасыщенные цементные бетоны в качестве радиопоглощающих материалов// Бетон и железобетон.— 1993.— № 2.— С. 11–13.

Здобувач провів дослідження радіопогинаючих властивостей металонасичених бетонів. Особистий внесок 35%.

13. Сердюк В.Р., Несен Л.Н. Підвищення захисних властивостей бетонів від іонізуючого випромінювання// Вісник ВПІ.— Вінниця, — 1993.— № 1.— С. 28–30.

Здобувач теоретично довів наявність у бетелів підвищених захистних властивостей від випромінювання. Особистий внесок 50%.

14. Сердюк В.Р., Несен Л.Н. Экранирующие и радиопоглощающие свойства бетэла-м// Строительные материалы и конструкции.— 1994.— № 1.— С. 8–9.

Здобувач провів дослідження екрануючих і радіопоглинаючих властивостей металонасиченого бетону. Особистий внесок 50%.

15. Сердюк В.Р., Червяков Ю.Н., Староминская П.А., Несен Л.Н.

Защитные свойства металлонасыщенных бетонов от ионизирующих излучений// Строительные материалы и конструкции.— 1994.— № 1.— С. 18–19.

Здобувач запропонував план експерименту. Особистий внесок 30%.

16. Червяков Ю.Н., Сердюк В.Р., Рыбакова И.С. Радиоактивность строительных материалов// Строительные материалы и конструкции.— 1994.— № 1.— С. 20.

Здобувач прийняв участь в оцінці радіоактивностей матеріалів. Особистий внесок 35%.

17. А.с. 643456 СССР, МКИ С 04 В 13/24. Добавка к бетонной смеси/ Ройзман П.А., Куатбаев К.К., Сердюк В.Р.

Здобувач дослідив властивості суміші. Особистий внесок 25%.

18. А.с. 654904 СССР, МКИ 01 33/38. Способ определения эффективности гидрофобных термопластичных добавок в автоклавных силикатных материалах/ Ройзман П.А., Сердюк В.Р., Кричевский Л.А.

Здобувач запропонував формулу винаходу. Особистий внесок 50%.

19. А.с. 719982 СССР, МКИ С 04 В 15/02. Ячеистобетонная смесь / Ройзман П.А., Сердюк В.Р., Куатбаев К.К. и др.

Здобувач виконав експериментальну частину. Особистий внесок 35%.

20. А.с. 761437 СССР, МКИ С 04 В 13/24. Комплексная добавка в цементнобетонную смесь/ Серегин Г.В., Сердюк В.Р., Михайловский В.П. и др.

Здобувач розробив теоретичну основу винаходу. Особистий внесок 70%.

21. А.с. 833749 СССР, МКИ С 04 В 15/02. Ячеистобетонная смесь/ Сердюк В.Р., Кричевский Л.А., Казов М.Н. и др.

Здобувач розробив теоретичну основу винаходу. Особистий внесок 40%.

22. А.с. 983109 СССР, МКИ С 04 В 15/02. Сырьевая смесь для изготовления ячеистого бетона/ Сердюк В.Р., Сергейкина Е.М., Бастрикина Л.А. и др.

Здобувач запропонував склад суміші. Особистий внесок 30%.

23. А.с. 990719 СССР, МКИ С 04 В 15/02. Сырьевая смесь для изготовления ячеистобетонных изделий/ Боженов П.И., Григорьев Б.А., Сердюк В.Р. и др.

Здобувач запропонував план і розробив експериментальні дослідження. Особистий внесок 25%.

24. А.с. 1066961 СССР, МКИ С 04 В 15/02. Сырьевая смесь для изготовления ячеистого бетона / Боженов П.И., Григорьев Б.А., Сердюк В.Р. и др.

Здобувач розробив теоретичну основу винаходу. Особистий внесок 25%.

25. А.с. 1130549 СССР, МКИ С 04 В 15/02. Сырьевая смесь для изготовления ячеистого бетона / Сердюк В.Р., Меркин А.П., Кравцов П.И.

Здобувач розробив теретичну основу винаходу. Особистий внесок 40%.

26. А.с. 1568410 СССР, МКИ С 04 В 18/26. Способ изготовления токопроводящих бетонных изделий/ Добжинский М.С., Друкованый М.Ф., Сердюк В.Р. и др.

Здобувач запропонував формулу винаходу. Особистий внесок 35%.

27. А.с. 1618742 СССР, МКИ С 04 В 38/02. Сырьевая смесь для изготовления ячеистого бетона/ Сердюк В.Р., Друкованый М.Ф., Хаддадин Л.О. и др.

Здобувач запропонував склад суміші. Особистий внесок 25%.

28. А.с. 1611897 СССР, МКИ С 04 В 38/02. Сырьевая смесь для изготовления ячеистого бетона/ Сердюк В.Р., Шеховцов О.А., Хаддадин Л.О.

Здобувач розробив теоретичну основу винаходу. Особистий внесок 25%.

29. А.с. 1636378 СССР, МКИ С 04 В 24/18. Комплексная добавка для бетонной смеси/ Сердюк В.Р., Хаддадин Л.О., Шеховцов О.А. и др.

Здобувач запропонував склад добавки. Особистий внесок 25%.

30. А.с. 1641958 СССР, МКИ Е 04 15/06. Антистатическое покрытие пола/ Сердюк В.Р., Седых Ю.И., Дорохов И.И. и др.

Здобувач запропонував конструктивне рішення елементу антистатичної підлоги. Особистий внесок 40%.

31. А.с. 1659381 СССР, МКИ С 04 В 38/02. Сырьевая смесь для приготовления ячеистого бетона/ Сердюк В.Р., Хаддадин Л.О., Рягузов Ю.Д.

Здобувач запропонував склад суміші. Особистий внесок 40%.

32. А.с. 1752730 СССР, МКИ С 04 В 38/02. Сырьевая смесь для изготовления электропроводного бетона/ Сердюк В.Р., Антоник И.П., Пунагин В.Н. и др.

Здобувач запропонував формулу винаходу . Особистий внесок 25%.

33. А.с. 1754751 СССР, МКИ С 09 9/02. Клеящая композиция/ Сердюк В.Р., Ковальчук И.В., Антоник И.П. и др.

Здобувач розробив теоретичну основу винаходу. Особистий внесок 25%.

34. А.с. 1795634 СССР, МКИ С 04 В 28/00. Бетонная смесь для изготовления токопроводящих нагревательных элементов/ Сердюк В.Р., Антоник И.П., Пунагин В.Н. и др.

Здобувач запропонував формулу винаходу . Особистий внесок 25%.

35. А.с. 1819770 СССР, МКИ В 28 В 3/08. Устройство для прессования элементов экранирования помещений от радиационных излучений / Павленко В.С., Коц И.В., Сердюк В.Р. и др.

Здобувач розробив теоретичну основу винаходу. Особистий внесок 25%.

36. Сердюк В.Р., Казов М.Н., Требухова Т.А. и др. Использование кека переработки феррофосфора для производства ячеистого бетона// Использование отходов химической промышленности и создание безотходных технологических процессов : Матер. респуб. науч.-техн. совещ.— Алма-Ата, 1980. С. 54–56.

Здобувач запропонував використати залізовміщуючі відходи як добавку. Особистий внесок 35%.

37. Сердюк В.Р., Ромазанов В.А. Использование побочных продуктов коксохимического производства в технологии строительных материалов// Проблемы повышения эффективности капитального строительства: Тез. докл. респуб. науч.-техн. конф.— Алма-Ата, 1983. С. 67–68.

Здобувач запропонував і зробив дослідження нових добавок. Особистий внесок 60%.

38. Сердюк В.Р., Ромазанов В.А. Улучшение основных свойств ячеистых бетонов// Проблемы повышения эффективности капитального строительства: Тез. докл. респуб. науч.-техн. конф.— Алма-Ата, 1983. С. 63–65.

Здобувач запропонував нові добавки для ніздрюватих бетонів. Особистий внесок 80%.

39. Сердюк В.Р., Казов М.Н., Требухова Т.А. Применение побочного продукта производства фосфатов в технологии автоклавных силикатных материалов // Использование отходов в производстве строительных материалов : Тез. докл. всесоюз. науч.-техн. конф.— Чимкент, 1986. С. 137–138.

Здобувач запропонував і зробив дослідження нової добавки в автоклавні бетони. Особистий внесок 40%.

40. Пунагин В.Н., Сердюк В.Р., Антоник И.П. Снижение материалоемкости конструкций и изделий из защитных бетонов// Внедрение в производство строительства прогрессивных строительных материалов: Тез. докл. респуб. совещ.— Ровно, 1990. С. 115–117.

Здобувач запропонував використовувати металонасичені бетони для захисту від радіоактивних випромінювань. Особистий внесок 30%.

41. Сердюк В.Р., Савчинский И.Г. Малоотходный метод порошковой металлургии — резерв экономии металлов в автомобилестроении// Социально-экономические аспекты и ресурсосбережение на автомобильном транспорте : Тез. докл. респуб. науч.-техн. конф.— Винница, 1992. С. 71–72.

Здобувач запропонував технологію використання металевих шліфувальніх відходів. Особистий внесок 60%.

42. Сердюк В.Р., Несен Л.Н., Савчинский И.Г. О выборе оборудования для переработки металлической стружки и шлифовальных шламов// Социально-экономические аспекты и ресурсосбережение на автомобильном транспорте: Тез. докл. респуб. науч.-техн. конф.— Винница, 1992. С. 86–87.

Здобувач запропонував технологічне обладнання для переробки шліфувальних шламів. Особистий внесок 40%.

43. Сердюк В.Р., Несен Л.Н. Макро- и микроструктура электропроводного металлонасыщенного цементного камня// Анализ и оптимизация грубогетерогенных композиционных материалов: Тез. докл. междун. сем.— Одесса, 1993. С. 40–41.

Здобувач розробив аналіз механізму формування структури металонасиченого бетону. Особистий внесок 50%.

44. Сердюк В.Р., Несен Л.Н. Экранирующие и радиопоглощающие свойства бетэла-м// Экспериментально-статическое моделирование в компьютерном материаловедении: Тез. докл. междун. сем.— Одесса, 1993. С. 48–49.

Здобувач запропонував план експерименту. Особистий внесок 50%.

45. Меркин А.П., Сердюк В.Р., Несен Л.Н. Бетон электропроводный металлонасыщенный (бетэл-м)// Материалы для строительства: Тез. докл. II междун. конф.— Днепропетровск, 1993. С. 115–116.

Здобувач зробив аналіз багатофункціональних властивостей бетела. Особистий внесок 35%.

46. Сердюк В.Р. Бетон электропроводний металлонасыщенный (бетэл-м) как защитный материал от ионизирующих излучений// Материалы для строительства. Тез. докл. 3-й междун. конф., Днепропетровск,— 1994.— С. 32–33.

Здобувач теоретично обгрунтував підвищені захистні властивості бетела. Особистий внесок 100%.

47. Сердюк В.Р., Несен Л.Н., Христич А.В. Влияние вибропрессующих воздействий на формирование структуры бэтела-м// Применение колебаний в технологии: расчет и проектирование машин для реализации технологий. Тез. докл. 2-й междун. науч.-техн. конф., Винница,— 1994.— С. 114.

Здобувач зробив дослідження впливу вібропресування на структуру бетела. Особистий внесок 35%.

48. Сердюк В.Р., Христич А.В., Несен Л.Н. Многотонажные отходы подшипниковых производств — эффективные наполнители для бетэлов// Ресурсосберегающие технологии в производстве строительных материалов. Сб. тр. междун. научн. конф., Макеевка.— 1995.— С. 123.

Здобувач запропонував використання відходів підшипникового виробництва. Особистий внесок 35%.

49. Сердюк В.Р., Рыбакова И.С., Христич А.В. Защитные свойства металлонасыщенных бетонов// Энергосберегающие технологии производства строительных материалов. Тез. докл. респ. сем., Киев.— 1995.— С. 38.

Здобувач запропонував план експерименту. Особистий внесок 35%.

50. Сердюк В.Р., Христич А.В. Защита от ионизирующих излучений// Моделирование и вычислительный эксперимент в материаловедении. Матер. 35 межд. сем., Одесса.— 1996.— С. 108.

Здобувач запропонував план досліджень. Особистий внесок 50%.

ABSTRACT

Serdyuk V. R. Electroconductive concretes of polyfunctional prescription.

The dissertation of supporting the scientific degree of doctor of technical science, speciality 05.23.05 — building materials and things. Pridneprovskaya State Academy of Civil Engineering and Architecture, Dnepropetrovsk, 1997.

One monograph, 50 scientific works, 19 author's licences are defended, which, contain the results of theoretical and experimental research in the field of manufacturing polyfunctional electroconductive concretes with use metallic conduct(ing) component. It's shown the mechanism of action of additions dispersion metal and determined the comformities of their influence on reological, physico-chemical, physico-mechanical and operational characteristics of cell and compact (density) of concretes. It is realized industrial introduction of metalliferous electroconductive concretes. There are produced the methodology of projection of concrete composition and data about the efficiency in use of them.

АННОТАЦИЯ

Сердюк В.Р. Электропроводные бетоны полифункционального назначения.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.23.05. — **Строительные материалы и изделия. Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры. Днепропетровск, 1997.**

Защищается 1 монография, 50 научых трудов, 19 авторских свидетельств, которые содержат результаты теоретических и экспериментальных исследований в области теории и практики изготовления полифункциональных электропроводных бетонов с использованием металлического проводникового компонента. Показаны механизмы действия добавок дисперсного металла и установлены закономерности влияния их на реологические, физико-механические и эксплуатационные характеристики ячеистых и плотных бетонов. Осуществлено промышленное внедрение металлонасыщенных электропроводных бетонов, приводится методология проектирования со-

ставов и данные об эффективности их использования .

Ключові слова: *електропровідні бетонні добавки, суміші, низькотемпературні електронагрівачі, захисні матеріали від іонізуючого випромінювання.*

Здано в набір 08.04.97. Підписано до друку 12.04.97.
Формат 60x84/16. Папір офсетний.
Гарнітура Антиква. Друк офсетний.
Ум. друк. арк. 2,54. Замов. 59. Тираж 100 екз.

Придніпровська Державна академія будівництва та архітектури

Оригінал-макет и друк фірми "КОНТИНЕНТ"
Україна, 287100, м. Вінниця, вул. Козицького, 13