

## АНТИСТАТИЧНІ ПОКРИТТЯ ІЗ ЕЛЕКТРОПРОВІДНОГО БЕТОНУ

Вінницький національний технічний університет

*В даній статті запропоновано використовувати металонасичений бетон в якості антистатичного покриття. Таке покриття забезпечить ефективний захист від виникнення вибухів і пожеж в особливо небезпечних приміщеннях. Запропонована досить проста технологія виготовлення антистатичного покриття із електропровідного бетону яка не потребує дорогих спеціальних матеріалів і устаткування. В якості електропровідного наповнювача запропоновано використовувати дисперсний шлак сталі ШХ-15. Такий наповнювач являється відходом шарикопідшипникового виробництва і практично не переробляється через високу дисперсність і вміст мастильно-охолоджувальних речовин. В результаті проведених досліджень встановлено, що з електропровідного бетону можуть виготовлятися вироби з широким діапазоном електротехнічних і механічних характеристик. На підставі всього комплексу експериментальних досліджень встановлено, що для виготовлення антистатичного покриття, яке відповідає вимогам по електропровідності, фізико-механічним і естетичним характеристикам, найкраще підходить електропровідний бетон на крупному наповнювачі з об'ємною концентрацією електропровідної фази 0,3 - 0,4.*

*Ключові слова:* електропровідний бетон, статична електрика, електропровідний наповнювач.

### Вступ

Статична електрика в даний час перетворилася в недолік ряду галузей виробництва і приносить великі збитки народному господарству. Зокрема, часто є причиною вибухів, пожеж, випуску бракованої продукції. Електростатичний заряд накопичується не тільки на устаткуванні і матеріалах, але і на людях. За певних умов напруга між людським тілом і землею може досягти 40 кВ і більше. При доторкуванні наелектризованої людини до заземленого електропровідного предмета відбувається іскровий розряд, що викликає, електричний удар [1-2].

Світова наука зараз приділяє багато уваги боротьбі з зарядами статичної електрики. Для попередження накопичення статичної електрики передбачається іонізація повітря або середовища, загальне або місцеве зволоження повітря, застосування матеріалів, що збільшують електропровідність діелектриків, відведення зарядів за допомогою заземлення устаткування і влаштування електропровідних покриттів з заданими електротехнічними властивостями.

Найбільш ефективним засобом захисту у вибухонебезпечних приміщеннях є влаштування електропровідних підлог, виготовлених із доступних недорогих матеріалів. Таким матеріалом може бути електропровідний бетон [3-4].

В роботах [5-6] встановлено, що з електропровідного бетону можуть виготовлятися вироби з широким діапазоном електричних і механічних характеристик. В таблиця 1 наведено електромеханічні характеристики електропровідних бетонів.

Таблиця 1

**Електромеханічні характеристики електропровідних бетонів**

№ п/п	Електромеханічні характеристики	Значення
1	Питомий електричний опір, Ом·см	10 – 10 <sup>4</sup>
2	Міцність на стиск, МПа	5,5 – 35
3	Міцність на згин, МПа	2,0 – 3,5
4	Щільність, г/см <sup>3</sup>	1,7 – 2,8
5	Допустима щільність струму, А/см <sup>2</sup>	10 – 0,1
6	Робочий діапазон температур, °С	від– 40 до + 150
7	Робоча температура перегріву, °С	+150
8	Допустима швидкість перегріву, С/сек	200

Для використання електропровідного бетону в якості антистатичного покриття необхідно підібрати компонентний склад і технологічну схему виготовлення таких елементів покриття.

Одна із умов використання антистатичного покриття є швидке розсіювання статичних зарядів, що дозволяє повністю виключити вплив статичної електрики на організм людини, а також можливість іскроутворення в результаті можливого накопичення статичної електрики. Тому швидкість розсіювання електричного заряду з тіла людини повинна бути не більшою  $3,75 \cdot 10^{-2}$  сек [7].

Також для використання антистатичного покриття у зазначених цілях необхідно, щоб електричний опір розтікання був не більшим  $10^6$  Ом стосовно землі при вимірюванні плоским електродом площею  $20 \text{ см}^2$ , а тож міцність на стиск такого покриття повинна бути не менше  $R_{ст} > 20,0 \text{ МПа}$  [3].

### Основна частина

Сировиною для отримання електропровідного бетону при експериментальних дослідженнях були: портландцемент марки 400 Камянець-Подільського цементного заводу (в'яжуче); пісок кварцевий (мілкий наповнювач), мармурова крихта (крупний наповнювач) та металевий шлам Вінницького шарикопідшипникового заводу (електропровідний наповнювач).

Електропровідний наповнювач - дисперсний шлам сталі ШХ-15 являється відходом шарикопідшипникового виробництва. Даний шлам практично не переробляється через високу дисперсність і вміст мастильно-охолоджувальних речовин. Він утворюється при виготовленні підшипників із сталі ШХ-15. Процентний вміст заліза складає  $86,3 \div 87,96\%$ , середній розмір частинок шламу становить  $2 \times 10^{-5}$  м. Питома поверхня даного порошку досягає  $0,5 \div 2 \times 10^3 \text{ м}^2/\text{кг}$  [8]. При зберіганні шламу у відкритих відвалах відбувається глибоке окислення заліза і висихання водних складових мастильно-охолоджувальних речовин. Оксидний шар складають гематит ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), магнетит ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), юстит (розчин  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  у  $\text{FeO}$ ), лапідокрит ( $\text{FeO}(\text{OH})$ ). [9].

Бетонна суміш готувалася по відпрацьованій технології [10]. Для дослідження було виготовлено декілька партій зразків у вигляді круглих пластин (діаметром 10 см і товщиною 2,5–5 см), що відрізнялися один від одного концентрацією провідної фази, видом наповнювача. З раніше проведених досліджень було встановлено, що зразки які тверділи 28 діб у камері нормального твердіння набирали найбільшу міцність [11-12]. Тому всі зразки тверділи 28 діб у камері нормального твердіння.

У процесі твердіння зразків вимірювався електричний опір, визначалася міцність на стиск через кожні 7, 14, 21 і 28 діб. Після повного висушування електропровідні зразки перевірялись на стиранність.

Результати електричних випробувань зразків, приготовлених на кварцевому піску, приведені в табл. 2. Аналізуючи їх можна помітити, що електричний опір збільшується в усіх зразках при твердінні протягом 28 діб. Збільшення електричного опору, пояснюється тим, що на протязі всього часу твердіння відбувається збільшення степені гідратації клінкерних мінералів, а також перекристалізація гелеобразних продуктів в з'єднання з більш вираженою кристалічною структурою [13]. В результаті цього виникають внутрішні напруження, які викликають деструктивні руйнування і призводять до утворення мікротріщин. Це призводить до руйнування контактів між електропровідними частинками, а значить до збільшення електричного опору.

Таблиця 2

Питомий електричний опір зразків на кварцевому піску

№ партії зразків	Об'ємна концентрація електропровідної фази $b_y$	Питомий електричний опір через N діб після формування, Ом×см			
		N=7	N=14	N=21	Після висушування
1	0.20	10120	14900	15010	18300
2	0.30	2950	3870	5750	3250
3	0.40	450	520	660	195

Стабілізувати значення електричного опору в часі означає, що необхідно зупинити гідратацію цементу, а значить вилучити хімічно незв'язану і частково хімічно зв'язану воду, методом

висушування. Із табл. 2 видно, що при висушуванні зразків з концентрацією електропровідної фази ( $b_v=0,20$ ) опір додатково зростає. Сушіння бетонна і з більшою концентрацією ( $b_v=0,3-0,4$ ) провідної фази призводить до зниження електричного опору. Пояснення з наукової точки зору даного процесу розглянуто в таких роботах [14-15].

Результати фізико-механічних досліджень електропровідного бетону на мілкому заповнювачі (кварцевому піску) приведені у табл. 3. Відповідно до отриманих результатів найбільш прийнятними є зразки з концентрацією провідної фази 0,20 і 0,30, так як обидва склади забезпечують міцність на стиск більше 20,0 МПа. Так як для бетонних підлог крім міцності на стиск є ще дуже важливий наступний параметр – коефіцієнт стиранності. Тому в роботі був досліджений коефіцієнт стиранності зразків з електропровідного бетону.

Таблиця 3

**Фізико-механічні властивості зразків на мілкому наповнювачі**

Назва показників	Значення показників для різної концентрації електропровідної фази		
	0.20	0.30	0.40
Міцність на стиск зразків, МПа	29	22,5	14,5
Коефіцієнт стиранності, г/см <sup>2</sup>	0.09	0.14	0,2

Також були проведені дослідження зразків, в яких крім мілкого наповнювача використовували крупний наповнювач - мармурова крихта, граніт. Вимірювання електричного опору і визначення механічної міцності проводилися за методикою, що із мілким наповнювачем. В таблицях 4-5 приведено питомий електричний опір та фізико-механічні властивості зразків на крупному наповнювачі.

Таблиця 4

**Питомий електричний опір зразків на крупному наповнювачі**

Концентрація електропровідної фази	Питомий електричний опір через N діб, Ом×см			
	N=7	N=14	N=28	Після висушування
0.20	4750	7620	8332	16330
0.30	950	1220	1210	545
0.40	100	145	140	63

Таблиця 5

**Фізико-механічні властивості зразків на крупному наповнювачі**

Назва показника	Міцність на стиск через N діб	Значення показників для різної концентрації провідної фази		
		0,2	0,3	0,4
Міцність на стиск зразків, МПа	7	25,5	17	12
	14	32,3	21	14
	21	35	24,5	18
	28	38	27	21
Коефіцієнт стиранності, г/см <sup>2</sup>	28	0,02	0,09	0.17

Зразки електропровідного бетону на крупному наповнювачі, забезпечують кращі фізико-механічні властивості, а саме міцність, стиранність. при концентрації провідної фази 0,40 і менше. Кінетика набору міцності на стиск зразків на мармуровій крихті показує, що вже на 14-й день твердіння вони мають достатню механічну міцність для обробітку поверхні шліфуванням.

Таким чином, на підставі всього комплексу експериментальних досліджень було встановлено, що для виготовлення антистатичного покриття, яке відповідає вимогам по електропровідності, фізико-механічним і естетичним характеристикам, найліпше підходить використовувати електропровідний бетон на крупному наповнювачі з об'ємною концентрацією провідної фази 0,3-0,4.

### Висновки

- Для боротьби з зарядами статичної електрики може бути використане покриття із електропровідного бетону, технологія виготовлення якого досить проста і не потребує дорогих матеріалів і спеціального устаткування.
- Для одержання антистатичного покриття, що відповідає вимогам електропровідності, фізико-механічним і естетичним вимогам, необхідно виготовляти покриття на крупному наповнювачі.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Максимов Б.К. Статическое электричество в промышленности и защита от него / Б.К. Максимов, А.А. Обух. – М., Энергия, 1989. – 80 с.
2. Лемешев М.С. Покриття із бетелу-м для боротьби з зарядами статичної електрики / М.С. Лемешев, О.В. Христич // Сучасні технології, матеріали і конструкції у будівництві: Науково-технічний збірник. – Вінниця: УНІВЕРСУМ, 2009. – С. 29-31
3. Сердюк В. Р. Радиопоглинаючі покриття з бетелу-м / В.Р. Сердюк, М.С. Лемешев // Збірник наукових статей “Ресурсоекономічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди”. Рівне, 2005. – Випуск № 12. – С. 62-68.
4. Сердюк В.Р. Бетон электропроводный металлонасыщенный / В.Р. Сердюк. – Винница: Континент, 1993. – 239 с.
5. Лемешев М. С. Будівельні матеріали для захисту від електромагнітного випромінювання / М. С. Лемешев, О. В. Березюк // Науковий журнал „Вісник Сумського національного аграрного університету”. Серія: будівництво. – Суми : СумНАУ. 2014. – вип. 8 (18). – С. 130–145.
6. Лемешев М. С. Металлонасыщенные бетоны для защиты от электромагнитного излучения / М. С. Лемешев // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури – Одеса: Зовнішрекламсервіс. – 2013. - №3. – С. 253-256.
7. Лемешев М. С. Электротехнические материалы для защиты от электромагнитного загрязнения окружающей среды / М.С. Лемешев, А.В. Христич // Инновационное развитие территорий : Материалы 4-й Междунар. науч.-практ. конф. (26 февраля 2016 г.). – Череповец : ЧГУ, 2016. – С. 78-83.
8. Сердюк В.Р. Технологические приемы повышения радиопоглощающих свойств изделий из бетелу-м / В.Р. Сердюк М.С. Лемешев // Строительные материалы и изделия. – 2005. – №5. – С. 2 – 6.
9. Лемешев М.С. Технологічні особливості формування електротехнічних властивостей електропровідних бетонів / М.С. Лемешев, О.В. Березюк, О.В. Христич // Мир науки и инноваций. – Иваново: Научный мир, 2015. – Выпуск 1 (1). Том 10. География. Геология. Искусствоведение, архитектура и строительство. – С. 74-78.
10. Лемешев М.С. Формування структури електропровідного бетону під впливом електричного струму/ М.С. Лемешев // Сучасні технології, матеріали і конструкції у будівництві: Науково-технічний збірник. –Вінниця: УНІВЕРСУМ, 2006. –С. 36-41.
11. Сердюк В.Р. Фізико-хімічні особливості формування структури електропровідних бетонів/ В.Р. Сердюк, М.С. Лемешев, О.В. Христич // Вісник Вінницького політехнічного інституту. –1997. –№ 2. – С. 5 –9.
12. Лемешев М. С. Радиоэкранирующие композиционные материалы с использованием отходов металлообработки / М.С. Лемешев, О.В. Березюк // Инновационное развитие территорий: матер. 2-й Междунар. науч.-практ. конф. (25–27 февраля 2014 г.) ; Отв. за вып. Е. В. Белановская. – Череповец : ЧГУ, 2014. – С. 63-65.
13. Сердюк, В. Р. Формування структури анодних заземлювачів з бетелу-м для систем катодного захисту / В. Р. Сердюк, М. С. Лемешев, О.В. Христич // Науково-технічний збірник. Будівельні матеріали, виробы та санітарна техніка, 2010, Випуск 35. – С. 99-104.
14. Лемешев М.С. Электропроводные металлонасыщенные бетоны полифункционального назначения / М. С. Лемешев // Сборник материалов международной научно-практической конференции “Актуальные проблемы архитектуры, строительства, энергоэффективности и экологии – 2016” (27-29 апреля 2016 г.): в трех томах. – ФГБОУВО “Тюменский индустриальный университет”, 2016. – С. 242-247.
15. Лемешев М.С. Электропроводні бетони для захисту від статичної електрики [Електронний ресурс] / М.С. Лемешев // Перспективні досягнення сучасних вчених : матеріали наукового симпозиуму, 19-20 вересня 2017 р. – Одеса: SWorld, 2017. – 5 с. – Режим доступу: <http://www.sworld.education/index.php/ru/c217-14/29403-%D1%81217-032>.

**Лемешев Михайло Степанович** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри безпеки життєдіяльності та педагогіки безпеки, Вінницький національний технічний університет.

**Березюк Олег Володимирович** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри безпеки життєдіяльності та педагогіки безпеки, Вінницький національний технічний університет.

**M. Iemeshev**

**O. Bereziuk**

## ANTISTATIC COATINGS FROM ELECTRIC CONCRETE

Vinnitsia National Technical University

*In this paper, it is proposed to use metal-saturated concrete as an antistatic coating. Such a coating will provide effective protection from the occurrence of explosions and fires in especially dangerous premises. A fairly simple*

*technology for producing an antistatic coating from an electrically-precast concrete is proposed, which does not require expensive special materials and equipment. As the electrically conductive filler, dispersed slag of SHX-15 steel was used. This filler is a waste ball-bearing production and is practically not processed due to the high dispersity and the content of lubricating-cooling substances. As a result of the conducted researches it is established that from electrically conductive concrete products with a wide range of electrical and mechanical characteristics can be made. On the basis of the whole complex of experimental studies, it has been found that electroconductive concrete on a large filler with a volume concentration of the electroconductive phase 0.3-0.4 is best suited for the production of an antistatic coating that meets the requirements for electrical conductivity, physico-mechanical and aesthetic characteristics.*

*Keywords:* electrically conductive concrete, static electricity, electrically conductive filler.

**Lemeshev Mihailo** – Cand. Sc., Associated Professor, Associated Professor of the Chair Security of Life and Pedagogy of Security, Vinnytsia National Technical University.

**Bereziuk Oleg** – Cand. Sc., Associated Professor, Associated Professor of the Chair Security of Life and Pedagogy of Security, Vinnytsia National Technical University.

**М. С. Лемешев**  
**О. В. Березюк**

## **АНТИСТАТИЧЕСКИЕ ПОКРЫТИЯ ИЗ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОГО БЕТОНА**

Винницкий национальный технический университет

*В данной статье предлагается использовать металлонасыщенный бетон в качестве антистатического покрытия. Такое покрытие обеспечит эффективную защиту от возникновения взрывов и пожаров в особо опасных помещениях. Предложена достаточно простая технология изготовления антистатического покрытия с электропроводного бетона не требующая дорогих специальных материалов и оборудования. В качестве электропроводящего наполнителя использовали дисперсный шлак стали ШХ-15. Такой наполнитель является отходом шарикоподшипникового производства и практически не перерабатывается из-за высокой дисперсности и содержания смазочно-охлаждающих веществ. В результате проведенных исследований установлено, что из электропроводного бетона могут изготавливаться изделия с широким диапазоном электротехнических и механических характеристик. На основании всего комплекса экспериментальных исследований установлено, что для изготовления антистатического покрытия, которое соответствует требованиям по электропроводности, физико-механическим и эстетическим характеристикам, лучше всего подходит электропроводный бетон на крупном наполнителе с объемной концентрацией электропроводящей фазы 0,3 - 0,4.*

*Ключевые слова:* электропроводящий бетон, статическое электричество, электропроводящий наполнитель.

**Лемешев Михаил Степанович** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности и педагогики безопасности, Винницкий национальный технический университет.

**Березюк Олег Владимирович** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности и педагогики безопасности, Винницкий национальный технический университет.