
VII. ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ГОТЕЛЬНО-РЕСТОРАННОГО ГОСПОДАРСТВА

УДК 620.178-3:620.175-2

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ТА ЕЛЕКТРИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК НОВИХ РЕЗИСТИВНИХ МАТЕРІАЛІВ

О. В. ВОЛОДЬКО, кандидат технічних наук
(Вищий навчальний заклад Укоопспілки
«Полтавський університет економіки і торгівлі»)

***Анотація.** Пріоритетним напрямом будівельної індустрії є створення нових композитних матеріалів, ефективність яких може регулюватися фізико-механічними і електричними властивостями їх компонентів. Існуючі резистивні композити мають низку недоліків. Метою дослідження є вивчення механічних і електричних характеристик спроектованих композитних матеріалів (фіброелектробетонів), армованих дискретними хімічними волокнами. Експериментально визначені значення електричного опору композитів, міцність на розтяг при згині та на стискання. Проведені випробування на тривалу дію змінного струму. Нові композити мають стабільні значення електропровідності в умовах підвищених температур і високу міцність на розтяг при згині і можуть бути використані у різних галузях електроенергетики та будівництва.*

***Ключові слова:** хімічні електропровідні волокна, фіброелектробетон, міцність, модуль пружності, електричний опір.*

Постановка проблеми в загальному вигляді. Створення нових композитних матеріалів, ефективних як з економічного, так і технологічного погляду, є актуальним завданням сучасної будівельної індустрії.

Особливий інтерес являють собою резистивні композитні матеріали, ефективність

яких може регулюватися фізико-механічними й електричними властивостями їх компонентів [1]. Серед таких перспективних матеріалів є резистивні композити, армовані хімічними електропровідними волокнами (фібробетели) [2]. Відомі резистивні композиції мають низку недоліків, пов'язаних із

нестабільністю електричних характеристик і недостатньою міцністю. Тому доцільно розробити нові склади резистивних матеріалів на основі бетонної матриці, які володіли б стабільними електричними та покращеними механічними характеристиками.

Формування цілей статті. Експериментальні дослідження резистивних композитів.

Виклад основного матеріалу дослідження. *Аналіз резистивних композитів.* Електропровідні бетони з армуванням матриці дискретними електропровідними волокнами висвітлені у джерелі [2]. Істотним недоліком таких матеріалів є низька механічна міцність. Ці резистивні композити призначені переважно для виготовлення об'ємних резисторів енергетичного устаткування, які працюють у короткочасному режимі у схемах комутаційної апаратури енергетичних установок і ліній високої напруги, а також заземлювачів. Використання їх для виготовлення нагрівальних елементів, що тривало працюють у циклічному режимі за температури понад 100 °С, призводить до зниження механічної міцності і нестабільності електричних характеристик. Це пояснюється деструктивними процесами в матеріалі, які спостерігаються в діапазоні 120...150 °С і супроводжуються дегідратацією сульфатовмісних і гідроалюмінатних фаз (при нагріванні відбувається втрата води молекулами кристалогідратів і гідрату двокальцієвого силікату, причому при тривалій дії тепла відбувається повний розпад цих сполук).

Композити, які можуть працювати тривалий час за достатньо високих температур, висвітлені у праці [3]. Вони теж мають і недоліки – високий уміст волокнистого наповнювача знижує міцність на стиск і зменшує густину композиції.

Одним із реальних способів усунення недоліків відомих резистивних матеріалів на основі гідралічного в'язучого є підвищення тепловипромінювальної здатності провідників, що досягається шляхом збільшення кількості електропровідних ланцюжків у композиції та рівномірності їх розподілу в об'ємі, підвищення густини та теплоємності

композиції, а також забезпечення міцності на розтяг і стійкості до утворення тріщин [4]. Цій вимозі більшою мірою відповідає волоконний резистивний матеріал, розроблений за участю автора [5]. Матеріал має стабільні електричні характеристики, достатню міцність, високий модуль пружності та стійкість проти стирання. Але, введений до складу матеріалу електрокорунд, що має густину 3,9...4,0 г/см³ та істотно підвищує модуль повздовжньої пружності композиту, доволі високовартісний. Тому ставилося завдання створити резистивний матеріал, що мав би стабільні електричні характеристики в умовах підвищених температур і відносно високі механічні характеристики за меншу вартість.

За участю автора був розроблений і досліджений резистивний композиційний матеріал [6], що містить в'язуче на основі швидкотверднучого цементу, колоїдний графіт, термічно стабільний наповнювач у вигляді кварцового піску та гранвідсіву, волоконний наповнювач, електропровідним компонентом якого додатково є технічний вуглець із питомою поверхнею $S_r = (90...100) \text{ м}^2/\text{г}$, а волоконним наповнювачем – хімічні електропровідні волокна. Як кварцовий пісок використовувався стандартний вольський пісок за ГОСТ 6139-78, як гранвідсів – відсів граніту Кременчуцького гранітного заводу. Склади сумішей інгредієнтів композитного матеріалу (мас. %) наведені у табл. 1.

Зразки матеріалу виготовлялись серіями. Елементи першої серії піддавалися випробуванням із визначення питомого електричного опору, другої – випробуванням на розтяг при згині і на стиск, третьої – тривалій дії змінного струму.

Для порівняння показників властивостей досліджуваного матеріалу була виготовлена контрольна суміш інгредієнтів, що містила, мас. %: швидкотверднучий цемент марки М400 – 34,6, вольський пісок – 56,4 і воду – решта до 100 %. При цьому водоцементне відношення суміші приблизно дорівнювало водокомпозиційному відношенню резистивного композиційного матеріалу, що пропонується (водокомпозиційне відношення ви-

значалося як відношення маси води до суми мас цементу, технічного вуглецю, колоїдного графіту і хімічного електропровідного волокна, що в нашому випадку дорівнює 0,26).

Таблиця 1

Суміші інгредієнтів композитного матеріалу

Склад суміші	Номер складу						
	1	2	3	4	5	6	7
Кварцовий пісок	25,5	50,0	7,5	4,0	49,0	30,0	1,0
Швидкотверднучий цемент марки М400	30,0	25,0	25,0	35,0	28,0	25,0	35,0
Хімічне електропровідне волокно типу "Углен-9"	0,9	0,5	0,5	1,4	1,0	0,5	1,1
Колоїдний графіт	4,0	6,0	2,0	6,0	6,0	2,0	2,0
Гранвідсів	25,5	7,5	50,0	35,5	1,0	33,0	49,0
Технічний вуглець марки П234 ГОСТ 7888-77	4,0	2,0	6,0	6,0	4,0	1,5	1,5
Вода	10,1	9,0	9,0	12,6	11	8,0	10,4

Примітка: вказані відсоткові співвідношення компонентів за впливом води відносяться до сухої маси.

Вимірювання електричного опору резистивних елементів проводилося після їх висушування за температури 105 ± 5 °С і охолодження до кімнатної температури $+22$ °С в ексікаторі під дією пресу, що дорівнює 500 Н (рис. 1).

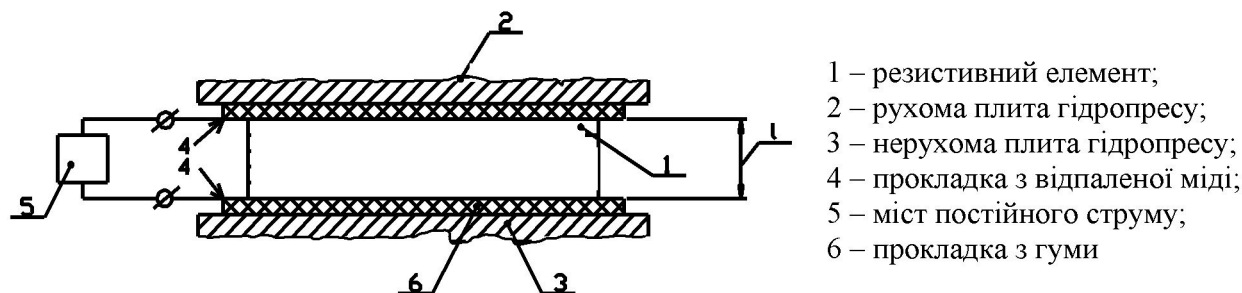


Рис. 1. Схема вимірювання електричного опору композиту

Питомий електричний опір (ρ) резистивного матеріалу визначався розрахунковим способом за формулою (1):

$$\rho = \frac{R \cdot s}{l}, \quad (1)$$

де R – опір резистивного елемента, Ом;
 $s = 4 \cdot 16 = 64$ см² – площа поперечного перетину резистивного елемента, см²;
 l – висота резистивного елемента, см,
($l = 4$ см у напрямі руху електричного струму).

Результати вимірювань електричного опору наведені в табл. 2.

Результати випробувань на механічну міцність подані в табл. 3.

Елементи третьої серії піддавалися тривалій дії змінного електричного струму частотою 50 Гц. На резистивні елементи подавалась напруга, при якій на елементи надходила теплова потужність (P_0), що дорівнює 75 Вт. Зміна напруги живлячої мережі забезпечувалася регулюючим автотрансформатором ЛАТР.

При подачі електроенергії резистивні елементи нагрівалися до температури, що не перевищує 150 °С.

Таблиця 2

Результати вимірювань електричного опору резистивних матеріалів

Показники	Номер складу суміші						
	1	2	3	4	5	6	7
Питомий об'ємний електричний опір (ρ), Ом·см	124	135	142	70	92	290	220
Електричний опір R_0 , Ом (середнє з трьох показників)	7,75	8,44	8,88	4,38	5,75	18,1	13,75

Таблиця 3

Результати випробувань на механічну міцність резистивних матеріалів

Номер складу суміші, що пропонується	Показники			
	міцність на розтяг при вигині, МПа		міцність при стиску, МПа	
	балочки	середнє з двох найбільших значень	балочки	середнє з чотирьох найбільших значень
1	4,3; 4,5; 4,2	4,40	33,15; 31,7; 32,3; 31,9; 31,9; 32,0	31,9
2	4,6; 4,7; 4,4	4,65	31,4; 31,0; 31,2; 31,0; 30,7; 31,1	31,1
3	5,0; 4,8; 4,6	4,9	30,4; 31,5; 29,3; 30,2; 33,2; 31,9	31,08
4	4,0; 4,1; 3,9	4,05	26,3; 26,6; 26,1; 28,1; 26,3; 26,0	26,6
5	4,0; 3,9; 4,4	4,20	29,0; 29,04; 28,7; 30,04; 30,0; 29,0	29,3
6	5,6; 5,7; 5,5	5,65	34,0; 34,44; 33,9; 33,74; 33,8; 33,8	33,9
7	6,0; 5,8; 5,6	5,90	34,2; 33,84; 33,3; 33,64; 33,4; 32,9	33,5
Контроль	5,0; 4,7; 4,6	4,85	43,5; 41,44; 42,4; 41,04; 40,0; 40,4	41,5

Після 100 годин випробувань електричний опір позначений R_1 , після 500 годин – R_2 , після 1000 годин – R_3 ; споживна потужність позначена відповідно P_1 , P_2 , P_3 (табл. 4).

Таблиця 4

Результати випробувань на дію змінного електричного струму

Показники	Склад суміші						
	1	2	3	4	5	6	7
R_0 (Ом)	112,0	120,0	116,0	57,0	74,0	242,0	200,0
(ρ), Ом·см	127,0	138,0	130,0	65,0	83,0	273,0	227,0
Після нагрівання протягом 100 год							
R_1 (Ом)	115,0	126,0	117,0	58,0	75,0	263,0	208,0
R_1 (Вт)	73,0	71,4	74,3	73,5	73,96	69,0	72,1

Продовж. табл. 1

Показники	Склад суміші						
	1	2	3	4	5	6	7
R_1/R_0	1,027	1,05	1,01	1,02	1,014	1,087	1,04
P_1/P_0	0,974	0,95	0,99	0,98	0,986	0,92	0,961
Після нагрівання протягом 500 год							
R_2 (Ом)	118,0	127,3	123,0	59,3	77,6	27,0	220,0
P_2 (Вт)	71,4	70,7	70,8	72,1	71,4	67,0	68,2
R_2/R_0	1,054	1,06	1,06	1,04	1,05	1,12	1,1
P_2/P_0	0,952	0,943	0,943	0,96	0,952	0,893	0,91
Після нагрівання протягом 1000 год							
R_3 (Ом)	122,0	132,0	128,0	62,0	81,0	275,0	228,0
P_3 (Вт)	69,3	69,1	68,2	70,1	70,4	64,7	67
R_3/R_0	1,09	1,1	1,1	1,09	1,09	1,14	1,14
P_3/P_0	0,918	0,91	0,906	0,92	0,91	0,88	0,877

У ході випробувань було доведено, що поєднання волоконної провідної фази з ультрадисперсним технічним вуглецем і колоїдним графітом полегшує утворення орієнтованих ланцюжкових структур і призводить до їх зростання, що підтверджується зниженням питомого електричного опору композиції.

Волоконна провідна фаза значно підвищує міцність на розтяг при згині та стійкість до утворення тріщин. Найбільший ефект впливу волоконної арматури на міцність при згині спостерігається під час уведення її в композицію в кількості 2–4 % маси цементу. Це запобігає розвитку деструктивних процесів, які виникають під час нагрівання й охолодження композиції. Довжина волокон 4...6 мм сприяє більш рівномірному їх розподілу в композиції.

Колоїдний графіт менш схильний до окислення, тому зменшує зміну електричного опору композиції під час її нагрівання. Гранвідсів – дешевий і досить термостійкий матеріал із високою теплопровідністю. Введення його в композицію інтенсифікує відведення тепла від локальних осередків нагріву та сприяє усереднюванню температури по всьому об'єму матеріалу, перешкоджає проходженню деструктивних процесів і знижує внутрішні напруження в композиції. Дисперсність гранвідсіву у межах 0,1...0,5 мм,

а кварцового піску у межах 0,2...2,5 мм сприяє більш рівномірному їх розподілу в об'ємі композиції.

Висновки із зазначених проблем і перспективи подальших досліджень. Результати проведених випробувань підтверджують, що композитний матеріал має досить стабільні значення електропровідності в умовах підвищених температур, високий модуль повздовжньої пружності, високу міцність на розтяг при згині. Він може бути використаний у різних галузях електроенергетики та будівництва: для виготовлення об'ємних резисторів, низько-температурних нагрівальних елементів побутового та промислового призначення з температурою нагріву 50...150 °С, заземлюючих і екрануючих пристроїв, антистатичної підлоги, тротуарів, дорожніх покриттів і стоянок для автомобілів, що підігріваються [7–8]. Тому подальші дослідження, пов'язані з визначенням модуля повздовжньої пружності та теплових характеристик композитного матеріалу, будуть продовжені.

ЛІТЕРАТУРА

1. Volodko O. V. Composite materials for building warmed road coverages and air strips of air fields / Piskunov V. G, Volod-

- ko O. V., Porkhunov A. I. // *Mechanics of composite materials : Fourteenth international conference : Book of abstracts, May 29–june 2, 2006. – Riga. – P. 170.*
2. Piskunov V. G. Composite materials for building heated coverings of roads and runways of airdromes / Piskunov V. G., Volodko O. V., Porkhunov A. I. // *Mechanics of composite materials. – 2011. – Vol. 44, no. 3. – P. 215–220.*
 3. Володько О. В. Конструювання та розрахунок дорожнього та аеродромного нагрівних покриттів: дис. канд. техн. наук: 05.22.11 / Володько Ольга Василівна. – Київ, 2012. – 200 с.
Volodko O. V. Konstruiuvannia ta rozrakhunok dorozhnoho ta aerodromnoho nahrivnykh pokryttiv: dys. kand. tekhn. nauk: 05.22.11 [Design and calculation of road and airfield coatings Heating: Dis. candidate. Sc. Sciences: 05.22.11]/ Kiev, 2012, 200 p. [in Ukrainian].
 4. Володько О. В. Резистивный композитный материал для нагреваемых строительных конструкций / О. В. Володько // Матер. 28-мой Межд. науч.-прак. конф. «Композиционные материалы в промышленности», 26–30.05.08. – Ялта. – С. 447–449.
Volodko O. V. Mater. 28-moi Mezhd. nauk.-prak. konf. «Kompozytsyonnye materyaly v promyshlennosti» [Composite materials in industry: Proceedings of the 28th International Scientific and Practical Conference]. Yalta, 2008, pp. 447–449 [in Russian].
 5. Патент на корисну модель № 39376, H01C7/00. Резистивний композиційний матеріал / Піскунов В. Г., Володько О. В., Порхунув О. І.; заявник та власник Національний транспортний університет. – № u200804332; заявл. 07.04.08; опубл. 25.02.09, Бюл. № 4.
Patent na korysnu model № 39376, H01C7/00. Piskunov V. H., Volodko O. V., Porkhunov O. I.; zaiavnyk ta vlasnyk Natsionalnyi transportnyi universytet, no u200804332, zaiavl. 07.04.08, opubl. 25.02.09, biul. no 4.
 6. Пат. на корисну модель № 82232, H01C7/00. Резистивний композиційний матеріал / Піскунов В. Г., Володько О. В., Порхунув О. І.; Цибульський В. М.; заявник та власник Національний транспортний університет. – № u2013 01785; заявл. 13.02.13; опубл. 25.07.13, Бюл. № 14.
Piskunov V. H., Volodko O. V., Porkhunov O. I., Tsibulskii V. M. Patent na korysnu model № 82232, H01C7/00 [The patent for utility model number 82232, N01S7 / 00. Resistive composite material], no u2013 01785, zaiavl. 13.02.13, opubl. 25.07.13, biul. no. 14.
 7. Володько О. В. Нагрівні покриття для безпечного зимового утримання автомобільних доріг / О. В. Володько // Вісник Національного транспортного університету. – 2010. – № 21. – С. 261–265.
Volodko O. V. Visnyk Natsionalnoho transportnoho universytetu, 2010, no. 21, pp. 261–265 [in Ukrainian].
 8. Володько О. В. Інноваційні технології будівництва об'єктів готельно-ресторанних комплексів / О. В. Володько // Актуальні проблеми та перспективи розвитку харчових виробництв, готельно-ресторанного та туристичного бізнесу : тези Міжн. наук.-прак. конф., 20–21.11.14. – Полтава : ПУЕТ, 2015. – С. 156–157.
Volodko O. V. Tezy dop. Mizhnar. nauk.-prak. konf. «Aktualni problemy ta perspektyvy rozvytku kharchovykh vyrobnytstv, hotelno-restorannoho ta turystychnoho biznesu» [Actual problems and prospects of development of food production, hotel and restaurant and tourism business: Abstracts Int. scientific-prac. Conf., 20-21.11.14]. Poltava: Poltavskii universytet ekonomiky i torgivli, 2014, pp. 156–157 [in Ukrainian].

О. В. Володько, кандидат технических наук (Высшее учебное заведение Укоопсоюз за «Полтавский университет экономики и торговли»). **Исследования механических и электрических характеристик новых резистивных материалов.**

Аннотация. Приоритетным направлением строительной индустрии является создание новых композиционных материалов, эффективность которых может регулироваться физико-механическими и электрическими свойствами их компонентов. Целью работы является исследование механических и электрических характеристик резистивных композитов (фиброэлектробетонов), армированных химическими волокнами. Экспериментально определены значения их электрического сопротивления, прочность на растяжение при изгибе и на сжатие. Проведены испытания на длительное воздействие переменного тока. Получены стабильные значения электропроводности в условиях повышенных температур и высокая прочность на растяжение при изгибе.

Ключевые слова: химические электропроводные волокна, фиброэлектробетон, прочность, модуль упругости, электрическое сопротивление.

O. Volodko, Cand. Tech. Sci. (Poltava University of Economics and Trade). **Research of mechanical and electric characteristics of new resistive materials.**

Summary. Results of pilot studies of mechanical and electric characteristics of new resistive composite materials are presented in article. Production of heating elements from composite materials is very effectively and high reliability. The great interest is caused by resistive composite materials which are fibroelektrobetons (fibrous-electric concretes) developed on the basis of a concrete matrix and reinforced by chemical electroconductive fibers.

Resistive compositions have a number of shortcomings. Therefore, with participation of the author the resistive composite material (fibroelektrobeton) was developed that included the binder on the basis of quick-hardening cement, colloidal graphite, thermally stable filler in the form of quartz sand and stone screening dust, a fiber filler - chemical electroconductive fibers and technical carbon.

Material has passed technical tests. Thus it is proved that the combination of a fiber leading phase with ultradispersed technical carbon and colloidal graphite facilitates creation of the oriented chained structures and conducts to their growth that is confirmed by decrease in specific electric resistance of composition. The fiber leading phase, reinforcing a matrix due to mechanical communication with a cement stone, significantly increases durability on stretching in case of a bend and resistance to formation of cracks. The greatest effect of fiber influence armature on durability in case of a bend is observed when entering it in composition in number of 2–4 % of the cement mass. It prevents development of destructive processes which arise when heating and chilling of composition. Length of fibers 4...6 mm promote their more uniform distribution in composition. Colloidal graphite is less subject to oxidation reducing change of electric composition resistance in case of its heating. Quick-hardening cement provides stability of electric characteristics, allows to support almost invariable physicommechanical characteristics of composition to 150 °C. Granotsev is cheap and rather heat-resistant material with high heat conductivity. Introduction in composition intensifies it heat removal from the local centers of heating and promotes averaging of temperature on all amount of material, interferes with passing of destructive processes and reduces internal tension in composition.

Results of testing confirm that composite material possesses rather stable values of conductivity in the conditions of the increased temperatures, the high module of longitudinal elasticity, high durability on stretching in case of a bend and on compression. It can be used in various industries of power industry and construction: in case of production of volume composite resistors, low-temperature heating elements of household, industrial and agricultural purpose with a heating temperature (50...150) °C, the grounding and shielding devices, antistatic a floor, sidewalks and pavings warmed up, etc. By results of researches patent has been received.

Keywords: chemical electroconductive fibers, fibroelektrobeton, durability, elasticity module, electric resistance.