

6. Rahman, M. M. Hydrothermal synthesis of nanostructured  $\text{Co}_3\text{O}_4$  materials under pulsed magnetic field and with an aging technique, and their electrochemical performance as anode for lithium-ion battery [Text] / M. M. Rahman, J.-Z. Wang, X.-L. Deng, Y. Li, H.-K. Liu // *Electrochimica Acta*. — 2009. — Vol. 55, № 2. — P. 504–510. doi:10.1016/j.electacta.2009.08.068
7. Лепешев, А. А. Плазмохимический синтез нанодисперсных порошков и полимерных нанокомпозитов [Текст] / А. А. Лепешев, А. В. Ушаков, И. В. Карпов. — Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2012. — 328 с.
8. Samukawa, S. The 2012 Plasma Roadmap [Text] / S. Samukawa, M. Hori, S. Rauf, K. Tachibana, P. Bruggeman, G. Kroesen et al. // *Journal of Physics D: Applied Physics*. — 2012. — Vol. 45, № 25. — P. 253001. doi:10.1088/0022-3727/45/25/253001
9. Лурье, Ю. Ю. Справочник по аналитической химии [Текст] / Ю. Ю. Лурье. — 6-ое изд. перераб. и доп. — М.: Химия, 1989. — 448 с.
10. Рузинов, Л. А. Равновесные превращения металлургических реакций [Текст] / Л. А. Рузинов, Б. С. Гуляницкий. — М.: Металлургия, 1975. — 416 с.
11. Кисленко, Л. В. Формирование частиц оксида меди в водном растворе поливинилпирролидона [Текст] / В. Н. Кисленко, Л. П. Олійник // *Український хімічний журнал*. — 2008. — Т. 74, № 4. — С. 67–70.
12. Теслюк, Д. А. Теоретический анализ сульфитного синтеза прекурсора для получения высокодисперсных порошков оксида кобальта(II), никеля(II) и меди(II) [Текст]: сборник трудов / Д. А. Теслюк, М. В. Васёха // X международное Курнаковское совещание по физико-химическому анализу. — Самара: Самарский ГТУ, 2013. — С. 74–79.
13. Baes, C. F. The hydrolysis of cations [Text] / C. F. Baes, R. E. Mesmer. — New York: Wiley, 1976. — 489 p.
14. Сергеева, О. В. Получение микро- и наноразмерных соединений меди путем плазмохимической обработки растворов [Текст] / О. В. Сергеева // *Технологический аудит и резервы производства*. — 2014. — № 5/3(19). — С. 19–22. doi:10.15587/2312-8372.2014.27943
15. Сергеева, О. В. Теоретический анализ получения высокодисперсных порошков оксидов меди при плазмохимической обработке растворов  $\text{CuSO}_4$  [Текст] / О. В. Сергеева, А. А. Пивоваров // *Вестник НТУ «ХПИ»*. Серия: Новые решения в современных технологиях. — 2015. — № 62(1171). — С. 155–159.

#### ОТРИМАННЯ ОКСИДНИХ З'ЄДНАНЬ МЕТАЛІВ В РЕЗУЛЬТАТІ ОБРОБКИ ВОДНИХ СЕРЕДОВИЩ КОНТАКТНОЮ НЕРІВНОВАЖНОЮ ПЛАЗМОЮ

У даній роботі розглянуто отримання високодисперсних порошків кисневмісних сполук кобальту і міді у водних середовищах. Отримані осадки, розмірні характеристики яких лежать в діапазоні 8–110 нм. Осадки сполук кобальту представлені у вигляді  $\beta\text{-Co}(\text{OH})_2$ ,  $\text{CoO}$ ,  $\text{Co}_3\text{O}_4$ , а з'єднання міді у вигляді  $\text{Cu}_2\text{O}$ ,  $\text{CuO}$ ,  $\text{Cu}$ , що підтверджують дані рентгеноструктурного аналізу.

**Ключові слова:** контактна нерівноважна плазма, розчин, нанорозмірні частинки, кисневмістні з'єднання кобальту, міді.

*Сергеева Ольга Вячеславовна, кандидат технических наук, доцент, кафедра технологии неорганических веществ и экологии, ГВУЗ «Украинский государственный химико-технологический университет», Днепропетровск, Украина, e-mail: ov.sergeeva@mail.ru.*

*Пивоваров Александр Андреевич, доктор технических наук, профессор, кафедра технологии неорганических веществ и экологии, ГВУЗ «Украинский государственный химико-технологический университет», Днепропетровск, Украина.*

*Сергеева Ольга Вячеславовна, кандидат технических наук, доцент, кафедра технологии неорганических веществ та екології, ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет», Дніпропетровськ, Україна.*

*Пивоваров Олександр Андрійович, доктор технічних наук, професор, кафедра технології неорганічних речовин та екології, ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет», Дніпропетровськ, Україна.*

*Sergeyeva Olga, Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnipropetrovsk, Ukraine, e-mail: ov.sergeeva@mail.ru.*

*Pivovarov Alexander, Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnipropetrovsk, Ukraine*

УДК 621.365:667.6

DOI: 10.15587/2312-8372.2016.65507

**Мельник Л. І.,  
Мелконян А. А.,  
Деренговський А. В.**

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОФІЗИЧНИХ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ КОМПОЗИЦІЙ НА ОСНОВІ ПОЛІОРГАНОСИЛОКСАН — ГРАФІТ

Розглянуто результати досліджень струмопровідності в системі поліорганосилоксан — наповнювач в широкому концентраційному інтервалі останнього та вплив етилсилікату-40 на її зміну. Вивчено поведінку струмопровідної композиції за умови зміни температури та вологості.

Досліджено поведінку цих систем як нагрівальних елементів, що виділяють тепло. Запропоновано одну з можливих конструкцій нагрівача з розробленої композиції і вивчені його експлуатаційні властивості.

**Ключові слова:** композиційні матеріали, графіт, поліорганосилоксан, електропровідність, питомий електричний опір, композит, поліметилфенілсилоксан.

### 1. Вступ

Останнім часом особливий інтерес в техніці викликають електропровідні композиційні матеріали (КМ) з ши-

роким температурним інтервалом служби та комплексом важливих експлуатаційних властивостей. Отримують їх переважно шляхом синтезу полімерів з напівпровідниковими властивостями або поєднання електропровідних

наповнювачів з різними синтетичними зв'язуючими, що більш доступно і просто.

В якості таких наповнювачів широко використовують метали (срібло, золото, мідь, алюміній, олово, нікель). Однак останні швидко окиснюються, седиментують і мають високу вартість. Використання для цієї мети вуглецю (у вигляді сажі або графіту) дозволяє уникнути вказаних недоліків за рахунок високої дисперсності та незначного питомого електроопору (до  $5 \cdot 10^{-2}$  Ом·м) вуглецевих наповнювачів, окрім того вони є хімічно інертними і досить термостійкими [1–3].

Тому в даній роботі запропоновано функціональне поєднання матеріалів з високою термостійкістю, зокрема кремнійорганічних зв'язуючих (300...400 °С), та графіту (>1000 °С), що дає можливість створення нових струмопровідних матеріалів здатних тривалий час працювати в умовах підвищених температур.

## 2. Аналіз літературних джерел та постановка проблеми

Сучасний розвиток науки і техніки ставить ряд завдань, вирішення яких потребує створення перспективних композиційних матеріалів, зокрема матеріалів з регульованими електричними властивостями і високою термостійкістю. Питання про місце наповнювача і ступінь його впливу на властивості полімерних композицій дуже складне і до кінця не вивчене. В літературі є відомості про суттєвий вплив природи наповнювача на фізико-хімічні характеристики, адгезію та електропровідні властивості [4] полімерних матеріалів.

Електропровідними вважаються покриття, у яких питомий опір не перевищує  $10^3$  Ом·м [5]. Вони призначаються для забезпечення проходження електричного струму або відводу з поверхні виникаючої статичної електрики.

Електрична провідність наповнених покриттів визначається складом і електричними параметрами окремих компонентів. У залежності від типу наповнювача ступінь наповнення може складати від 20 до 50 % по об'єму [5].

Стабільність і рівень електрофізичних властивостей в системі вуглецевмісний матеріал – поліорганосилоксан в значній мірі визначається характером взаємодії між інгредієнтами. Однак інформація по вказаним параметрам дуже обмежена і стосується переважно оцінки залежності струмопровідності від концентрації наповнювача та структури композиції.

Серед вуглецевмісних матеріалів сажа найбільш часто використовується в технології переробки полімерів в якості компонента, що збільшує міцність і надає композиції струмопровідних властивостей [6].

При зростанні концентрації сажі значно змінюються механічні властивості і об'ємна провідність при досягненні певного критичного об'єму фракції в композиції. Як показують дослідження [1], характеристики сажі (розмір частинок, пористість, параметри поверхні та ін.), дисперсність і умови переробки є ключовими.

Коли композиція використовується як постійно діюче антистатичне покриття, суттєво важливими є такі властивості як шорсткість і поверхнева провідність. В тих випадках, коли сажа використовується для покращення поверхневої провідності, наявність частинок на поверхні грає вирішальну роль. Загальноприйнятій підхід в технології фарб і покриттів полягає в одержанні відомостей про властивості матеріалу в масі. Тому, здавалось би, вміст

об'ємної кількості сажі вище порогу перколяції, достатній для одержання необхідної поверхневої провідності, але, зважаючи на те, що властивості матеріалу в масі і на поверхні різні, тому необхідні системні дослідження, направлені на вивчення природи поверхневого шару і факторів, що впливають на цей процес [7].

Виходячи з проведеного літературного огляду слід відмітити, що інформація про можливі процеси взаємодії в системі поліорганосилоксан – вуглецевмісний компонент недостатня, властивості цих систем мало досліджені, тому обрана тема є актуальною.

## 3. Об'єкт, мета і задачі дослідження

Проведені дослідження ставили за мету визначення електрофізичних та фізико-механічних властивостей полімерних матеріалів системи поліорганосилоксан – графіт. В якості об'єкту дослідження обрані електропровідні композиційні матеріали на основі системи поліорганосилоксан – графіт марки ГЛС-1.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- провести комплексні дослідження електричних, фізико-механічних та експлуатаційних властивостей цих систем;
- визначити оптимальні концентраційні межі наповнювача для одержання максимальної струмопровідності;
- оцінити рівень електрофізичних та експлуатаційних властивостей силоксанграфітових композиційних матеріалів та дослідити можливості їх регулювання за рахунок зміни температури обробки та введення спеціальних додатків;
- розробити конструкцію нагрівального приладу та дослідити його властивості.

## 4. Матеріали та методи дослідження

Для вирішення поставлених задач використовували основні положення композиційного матеріалознавства та процесів формування композитів. Експериментальні дослідження по одержанню силоксанграфітових полімерних матеріалів та встановленню їх експлуатаційних властивостей виконані в лабораторних умовах з використанням сучасних методів фізико-хімічних досліджень.

Дослідження зразків електропровідних композиційних матеріалів проводили за стандартними методами випробування [8]: визначення електричних властивостей, адгезійної міцності, визначення температурного коефіцієнта опору, вологопоглинання, змочування зразків тощо.

Як полімерні зв'язуючі використовували поліорганосилоксани, зокрема поліфенілсилоксан (ПФС) і поліметилфенілсилоксан (ПМФС). Як наповнювач використовувався графіт марки ГЛС-1.

Композиційний матеріал одержали методом диспергування системи графіт – кремнійорганічні лаки протягом 140 годин у лабораторному кульовому млині, до ступеня перетиру 30 мкм на приладі «Клин» (ГОСТ 6589-74). Композицію наносили методом наливу. Застосовували наступний режим термообробки покриття: витримували 24 год. за кімнатної температури для видалення розчинника, потім 1 год. за температури 180 °С.

Дослідження проводили як на вільних плівках, так і на покриттях з підкладкою різної природи.

## 5. Результати дослідження електрофізичних та експлуатаційних властивостей композицій поліорганосилоксан — графіт

В ході проведення комплексного аналізу по дослідженню фізико-механічних та експлуатаційних властивостей було встановлено, що об'ємний опір (двоелектродний метод за допомогою моста змінного струму  $P = 5083$ , частота — 1000 Гц) невипалених і випалених (300 год. за температури 200 °С) зразків скачкоподібно зменшився на  $10^3$ – $10^5$  одиниць у вузькому інтервалі концентрацій струмопровідного наповнювача [9].

Система полімер — графіт подібна до моделі трьохмірної сітки з електропровідними вузлами з частинок графіту та блокованими вузлами з частинок полімеру. Поблизу порогу протікання, тобто при концентраціях графіту, при яких спостерігається різке зменшення електроопору окремі кластери графіту з'єднуються між собою і утворюється неперервний кластер з частинок графіту, що і призводить до скачкоподібного зменшення електроопору на декілька десяткових порядків [5, 10]. При подальшому зростанні концентрації графіту зменшується число «тупикових шляхів» в неперервному кластері з графіту, що призводить до подальшого незначного зменшення електроопору (рис. 1, крива 1). Випалювання зразків струмопровідної композиції викликає зменшення електроопору лише на 5–10 % (рис. 1, крива 2).

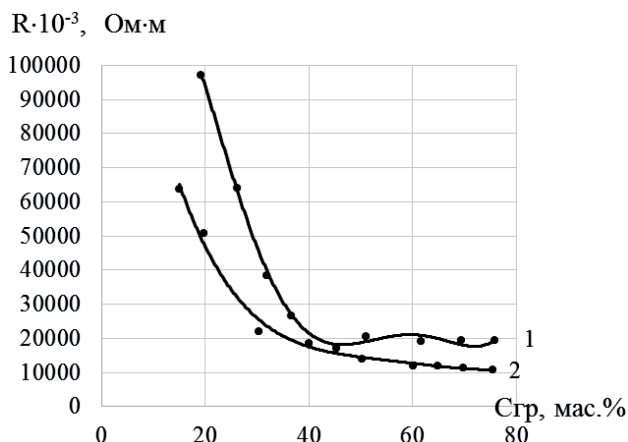


Рис. 1. Залежність питомого об'ємного електроопору композицій на основі ПМФС від вмісту наповнювача: 1 — за нормальних умов; 2 — після тривалої термообробки

В системах, що досліджувались, порогові значення концентрації графіту складають приблизно 31,5 мас. % і перколяційний перехід в цих системах досить різкий.

Що стосується термічного коефіцієнту опору (ТКО), то монокристал графіту в напрямку шарів має додатний ТКО, характерний для металевих провідників, і питомий опір порядку  $1 \cdot 10^{-7}$  Ом · м. В напрямку перпендикулярному шарам, ТКО є від'ємним, як у напівпровідників, а значення питомого опору приблизно в 250 разів більше [11]. Як відомо, властивості природного і синтетичного графіту можуть значною мірою коливатись в залежності від вмісту домішок. Як видно з рис. 2, ТКО поліорганосилоксанів від'ємний, але з ростом концентрації графіту він зростає.

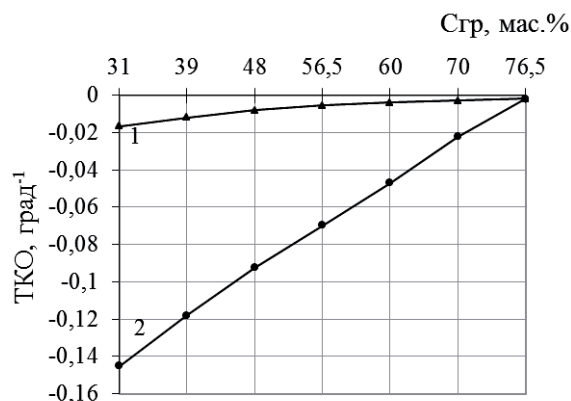


Рис. 2. Залежність температурного коефіцієнту опору кремнійорганічних композицій від концентрації наповнювача: 1 — на основі ПМФС; 2 — на основі ПФС

Електрофізичні характеристики наповненого графітом поліметилфенілсилоксану і поліфенілсилоксану в залежності від вмісту наповнювача наведено у табл. 1.

Як видно з табл. 1 для забезпечення рівномірного нагрівання зразків, що містять графіт і поліорганосилоксан, вміст наповнювача не повинен бути менше ніж 30 мас. % [12]. При цьому питома потужність зразків знаходиться в межах 620–26460 Вт/м<sup>2</sup>, за напруги змінного струму — 2,2–72 В.

З метою визначення впливу етилсилікату-40 (ЕТС-40) на електричні характеристики одержаних композицій, його вводили до складу готової системи в кількості 5 мас. %. Електричні характеристики оцінювали на скляних зразках після термообробки. Наприклад, 3 год. за температури 80 °С, 115 °С, 180 °С, 250 °С (рис. 3).

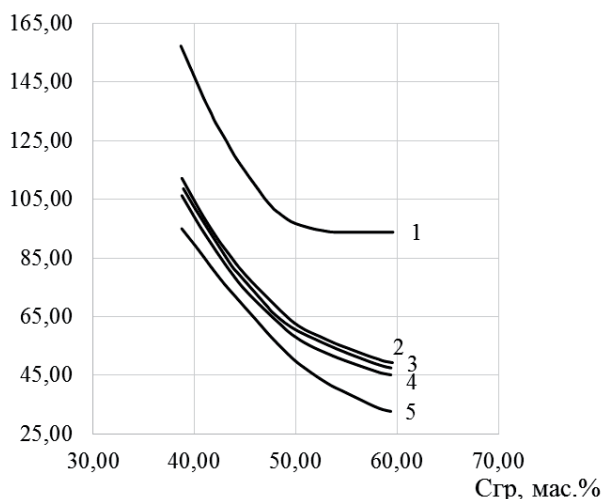
Таблиця 1

Електрофізичні характеристики композицій на основі поліорганосилоксанів наповнених графітом

Показник	Вміст графіту, мас. %					
	ПМФС	ПФС	ПМФС	ПФС	ПМФС	ПФС
	31	30	55	60	76	70
Питомий електроопір, Ом · м	1,1	$9 \cdot 10^{-1}$	$9 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-1}$	$8 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-1}$
Сила струму в ланцюгу, А	1/3	0,4/1	1/8	0,4/0,8	2/5	0,3/2
Напруга в зажимах електродів, В	8,6/23,4	27/72	3,58/15,6	23/38	2,2/5,03	8,8/35
Потужність, Вт	8,62/66,9	11/72	3,58/124,16	9/30	4,4/25,15	2,6/70
Питома потужність, Вт/см <sup>2</sup>	0,193/1,499	0,27/1,83	0,076/2,646	0,247/0,82	0,162/0,997	0,062/1,67
Температура поверхні, °С	56/350	140/240	30/370	112/240	47/180	20/215
Нагрівання	Рівномірне	Рівномірне	Відносно рівномірне	Відносно рівномірне	Відносно рівномірне	Відносно рівномірне

Примітка: чисельник/знаменник — інтервал випробувань

$R \cdot 10^{-3}$ , Ом·м



**Рис. 3.** Залежність об'ємного опору від концентрації наповнювача для систем: ПМФС+графіт+5 % ЕТС-40 за різної температури термообробки: 1 — ПМФС+графіт без термообробки; 2 — температура термообробки 80 °С; 3 — температура термообробки 115 °С; 4 — температура термообробки 180 °С; 5 — температура термообробки 250 °С

Встановлено, що введення етилсилікату-40 зменшує питомий електроопір. При цьому падіння електроопору протікає прямопорційно підвищенню температури термообробки і збільшенню концентрації наповнювача. Це можна пояснити частковим окисненням поверхні і видаленням розчинника під час полімеризації.

В результаті проведених досліджень було розроблено конструкцію нагрівача, зі струмопровідним лакофарбовим покриттям на поверхні. Проведено випробування цього нагрівача в лабораторних умовах.

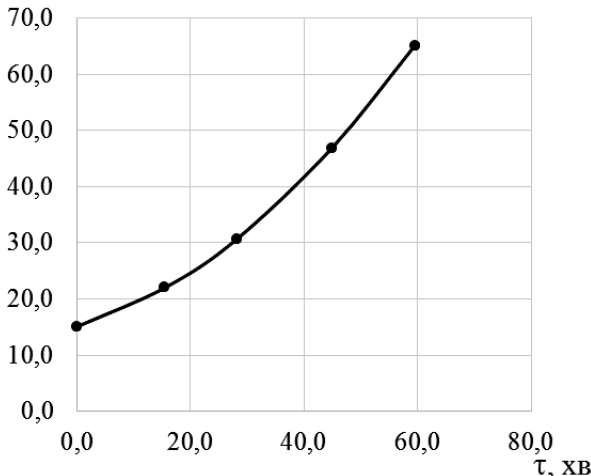
Відомо, що кількість виділеної теплоти пропорційна спожитій потужності [13]. Але при цьому слід врахувати той факт, що потужність при постійній напрузі залежить від опору. Якщо прийняти, що оптимальна напруга становить 220 В, а потужність 2 кВт, то опір повинен знаходитись в межах 20–22 Ом. Слід також врахувати, що за рахунок площі поверхні та положення місця приєднання електродів можна варіювати опором навіть при сталій концентрації наповнювача. З урахуванням рекомендацій та одержаних результатів по оцінці теплопровідності була розроблена конструкція нагрівача з наступними технічними характеристиками: сила струму — 0,8 А, потужності — 176 Вт, площі поверхні покриття — 880 см<sup>2</sup>, питома потужність складає — 0,2 Вт/см<sup>2</sup>, концентрації графіту в складі композиції — 50 мас. %, а залежність температури нагріву від часу наведено на рис. 4.

Ефективне використання електропровідних матеріалів системи ПОС — графіт у вигляді покриттів зумовлює необхідність оцінки рівня їх експлуатаційних властивостей на різних підкладках. Серед показників, що найбільш об'єктивно характеризують рівень останніх, в першу чергу слід виділити адгезійну міцність та стійкість до дії вологи в різному виді. Цей комплексний показник дозволяє кількісно оцінити ступінь сумісності лакофарбового матеріалу з підкладками різної хімічної природи.

Електричні властивості дослідних композиційних матеріалів практично не змінювалися в умовах підви-

щеної вологості (98 ± 2 %) як за кімнатної температури, так і за температури 60 °С, плівки сорбують не більше 2 % вологи.

$T$ , °С

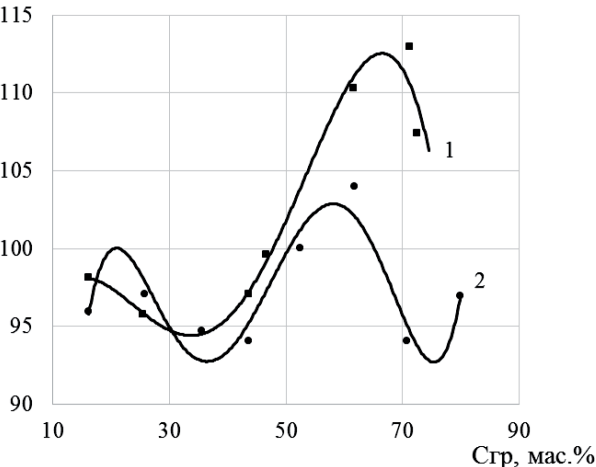


**Рис. 4.** Залежність температури поверхні нагрівача від тривалості його нагрівання

Гідрофобність оцінювалась краєвим кутом змочування  $\theta$  водою. Досліджувані струмопровідні композиції характеризуються високою гідрофобністю, їх кут змочування перевищує 96°. Максимальне значення гідрофобності досягається за концентрації наповнювача 60 %, що зумовлено оптимальною орієнтацією мікрочастинок наповнювача (рис. 5).

Електропровідні покриття мають задовільну адгезію до підкладок різного типу, зокрема до таких як сталеві, скляні, склопластикові, керамічні.

$\theta$ , °



**Рис. 5.** Залежність кута змочування кремнійорганічних композицій від концентрації наповнювача: 1 — на основі ПМФС; 2 — на основі ПФС

В табл. 2 наведені результати цих досліджень, адгезія оцінювалась в балах за чотирибальною шкалою [8].

Використання поліорганосилоксану дозволяє отримати покриття з достатньою адгезійною міцністю практично на всіх видах досліджуваних підкладок. Максимальна адгезія (1 бал) досягається при концентрації графіту від 31,5 мас. % (керамічна підкладка) до 76 мас. % (скло-

пластик) у випадку ПМФС зв'язуючого. Для ПФС оптимальне наповнення графітом складає 40 мас. % (керамічна підкладка) — 70 мас. % (скло і склопластик).

Таблиця 2

Адгезія поліорганосилоксанів

Підкладка, Сграфіту, %	ПМФС					ПФС				
	70	60	45	30	20	70	60	45	30	20
Скляна	3	2	1	1	1	1	1	1	1	1
Керамічна	4	3	2	1	1	3	2	2	1	1
Бетонна	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1
Сталева	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1
Склопластикова	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

З отриманих результатів досліджень можна зробити висновок, що оптимальною концентрацією наповнювача є вміст графіту 30–60 мас. %.

## 6. Обговорення результатів комплексного аналізу властивостей композицій поліорганосилоксан — графіт

Проведений комплексний аналіз властивостей струмопровідних композицій на основі системи поліорганосилоксан — графіт показав, що дані системи добре зарекомендували себе в якості струмопровідного елемента, з досить високою тепловиділяючою здатністю.

Можливі галузі застосування цих композицій в якості обігріву взуття; антибурульковий засобу; нагрівальних пристроїв приміщень різного призначення, що дасть змогу знизити запиленість приміщень, повністю сховати поверхню, що нагрівають, створити в приміщенні рівномірну температуру, виготовляти нагрівальні елементи різноманітної конфігурації. Крім цього, використання в якості зв'язуючого кремнійорганічних лаків надає композиції відмінних захисних властивостей.

В ході проведених досліджень одним негативним моментом виявився від'ємний температурний коефіцієнт опору, що може спричинити місцеве перегрівання композиції, тому в подальших дослідженнях варто приділити увагу саме цій проблемі. Одним з можливих варіантів її вирішення, можливо, використання іншого вуглецевого наповнювача. Тому дана тема є незавершеною і потребує подальших досліджень.

## 7. Висновки

Стаття присвячена вирішенню науково-практичної задачі розробки нових силосанграфітових струмопровідних композиційних матеріалів з регульованими електричними властивостями і підвищеною термостійкістю.

Основні висновки:

1. В ході комплексних досліджень електричних, фізико-механічних та експлуатаційних властивостей було встановлено, що дослідні композиції на основі системи поліорганосилоксан — графіт ГЛС-1 мають перколяційний ефект в межах 32–35 мас. % графіту, системи характеризуються від'ємним температурним коефіцієнтом опору в широкому концентраційному інтервалі наповнювача, володіють підвищеною адгезійною здатністю до підкладок різної природи, покриття є гідрофобними.

2. Визначено оптимальні концентраційні межі наповнювача для одержання максимальної струмопровідності, вони склали 50–60 мас. % графіту.

3. Оцінено можливість регулювання електрофізичних та експлуатаційних властивостей силосанграфітових композиційних матеріалів за рахунок зміни температури обробки та введення спеціальних додатків. Так при введенні спеціального додатку етилсилікату-40 в кількості 5 мас. %, з подальшою термообробкою зразків знижується питомий електричний опір на 0,5 порядку.

4. Розроблена конструкція нагрівального приладу, що являє собою мармурову плиту з нанесеною на неї струмопровідною композицією, враховувати, що за рахунок площі поверхні та положення місця приєднання електродів можна варіювати опором навіть при сталій концентрації наповнювача, тому покриття наносили у вигляді зігзагів. Така конструкція нагрівача має наступні технічні характеристики: сила струму — 0,8 А, потужності — 176 Вт, площа поверхні покриття — 880 см<sup>2</sup>, питома потужність складає — 0,2 Вт/см<sup>2</sup>, концентрації графіту в складі композиції — 50 мас. %.

## Література

- Peckett, J. W. Electrochemically oxidised graphite [Text] / J. W. Peckett, P. Trens, R. D. Gougeon, A. Pöpl, R. K. Harris, M. J. Hudson // Carbon. — 2000. — Vol. 38, № 3. — P. 345–353. doi:10.1016/s0008-6223(99)00110-4
- Yue, Z. R. Surface characterization of electrochemically oxidized carbon fibers [Text] / Z. R. Yue, W. Jiang, L. Wang, S. D. Gardner, C. U. Pittman // Carbon. — 1999. — Vol. 37, № 11. — P. 1785–1796. doi:10.1016/s0008-6223(99)00047-0
- Vovchenko, L. Mechanical and electrical properties of the epoxy composites with graphite nanoplatelets and carbon nanotubes [Text] / L. Vovchenko, O. Lazarenko, L. Matzui, Y. Perets, A. Zhuravkov, V. Fedorets, F. L. Normand // Phys. Status Solidi A. — 2013. — Vol. 211, № 2. — P. 336–341. doi:10.1002/pssa.201330091
- Черныш, И. Г. Физико-химические свойства графита и его соединений [Текст] / И. Г. Черныш, И. И. Карпов, Г. П. Приходько, В. М. Шай. — Киев: Наукова думка, 1990. — 200 с.
- Vovchenko, L. L. The Effect of Filler Morphology and Distribution on Electrical and Shielding Properties of Graphite-Epoxy Composites [Text] / L. L. Vovchenko, L. Yu. Matzui, V. V. Oliynyk, V. L. Launetz // Molecular Crystals and Liquid Crystals. — 2011. — Vol. 535, № 1. — P. 179–188. doi:10.1080/15421406.2011.538335
- Vovchenko, L. Electrical and shielding properties of epoxy composites containing hybrid carbon fillers [Text] / L. Vovchenko, L. Matzui, V. Oliynyk, V. Launetz, O. Zhuravkov // Materialwissenschaft und Werkstofftechnik. — 2013. — Vol. 44, № 2–3. — P. 249–253. doi:10.1002/mawe.201300116
- Matzui, L. Y. Electrophysical properties of the nanocarbon materials [Text] / L. Y. Matzui, I. V. Ovsienko, T. A. Len, L. L. Vovchenko, Y. I. Prylutsky, S. Y. Zaginachenko, P. Eklund, F. Normand // Hydrogen Materials Science and Chemistry of Carbon Nanomaterials. NATO Security through Science Series A: Chemistry and Biology. — 2007. — P. 149–154. doi:10.1007/978-1-4020-5514-0\_17
- Карякина, М. И. Лабораторный практикум по испытанию лакокрасочных материалов и покрытий [Текст] / М. И. Карякина. — М.: Химия, 1980. — 240 с.
- Свідерський, В. А. Струмопровідні композиції на основі поліорганосилоксанів [Текст] / В. А. Свідерський, Л. І. Мельник, С. В. Лавриненко // Хімічна промисловість України. — 2002. — № 1. — С. 22–24.
- Ovsienko, I. V. Resistance of a Nanocarbon Material Containing Nanotubes [Text] / I. V. Ovsienko, T. A. Len, L. Yu. Matzui, Yu. I. Prylutsky, U. Ritter, P. Scharff, F. Le Normand, P. Eklund // Molecular Crystals and Liquid Crystals. — 2007. — Vol. 468, № 1. — P. 289–297. doi:10.1080/15421400701231582

11. Vovchenko, L. L. Thermal stability of graphite-Cobalt nano-composite materials [Text] / L. L. Vovchenko, L. Yu. Matzui, N. I. Zakharenko, L. M. Kapitanchuk, A. I. Brusilovets // *Inorganic Materials*. — 2006. — Vol. 42, № 1. — P. 19–23. doi:10.1134/s0020168506010055
12. Свідерський, В. А. Електронагрівальні матеріали і елементи на основі поліорганосилоксанів наповнених графітом [Текст] / В. А. Свідерський, Л. І. Мельник, С. В. Лавриненко // *Хімічна промисловість України*. — 2002. — № 2. — С. 24–26.
13. Lazarenko, A. Thermal diffusivity of nanocarbon composites [Text] / A. Lazarenko, L. Vovchenko, L. Matzui, V. Kozachenko, Y. Prylutskyu, P. Scharff, U. Ritter // *Polymer Composites*. — 2010. — Vol. 32, № 1. — P. 14–17. doi:10.1002/pc.21009

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ ПОЛИОРГАНОСИЛОКСАН — ГРАФИТ

Рассмотрены результаты исследований токопроводимости в системе полиорганосилоксан — наполнитель в широком концентрационном интервале последнего и влияние этилсиликата-40 на ее изменение. Изучено поведение токопроводящей композиции при условии изменения температуры и влажности.

Исследовано поведение этих систем в качестве нагревательных элементов, выделяющих тепло. Предложено одну из возможных конструкций нагревателя с разработанной композицией и изучены его эксплуатационные свойства.

**Ключевые слова:** композиционные материалы, графит, полиорганосилоксан, электропроводность, удельное электрическое сопротивление, композит, полиметилфенилсилоксан.

*Мельник Любов Іванівна, кандидат технічних наук, старший викладач, кафедра хімічної технології композиційних матеріалів, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Україна, e-mail: luba\_xtkm@ukr.net.*

*Мелконян Арегназ Арменівна, кафедра хімічної технології композиційних матеріалів, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Україна, e-mail: areknazmelkonyan2215@yahoo.com.*

*Деренговський Андрій Валерійович, кафедра хімічної технології композиційних матеріалів, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Україна.*

*Мельник Любовь Ивановна, кандидат технических наук, старший преподаватель, кафедра химической технологии композиционных материалов, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Украина.*

*Мелконян Арегназ Арменовна, кафедра химической технологии композиционных материалов, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Украина.*

*Деренговский Андрей Валерьевич, кафедра химической технологии композиционных материалов, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Украина.*

*Melnik Liubov, National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Ukraine, e-mail: luba\_xtkm@ukr.net.*

*Melkonyan Aregnaz, National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Ukraine, e-mail: areknazmelkonyan2215@yahoo.com.*

*Derengovsky Andrey, National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Ukraine*

УДК 666.946

DOI: 10.15587/2312-8372.2016.65525

**Мазурок П. С.,  
Буюк М. В.,  
Токарчук В. В.,  
Свідерський В. А.**

## ВИКОРИСТАННЯ ТЕРМООБРОБЛЕНИХ СИЛКАТОВМІЩУЮЧИХ ПОРІД ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ЦЕМЕНТІВ ТА ТАМПОНАЖНИХ РОЗЧИНІВ

*Вивчено вплив природних та термооброблених силкатовміщуючих порід на властивості цементів. Встановлено, що термооброблені глини позитивно впливають на міцність цементів та тампонажних розчинів на їх основі. Визначено, що полегшені тампонажні розчини з добавкою термообробленої глиняної породи відповідають вимогам до таких матеріалів і відрізняються підвищеною міцністю в пізні строки тверднення.*

**Ключові слова:** цемент, полегшуючі добавки, тампонажний розчин, водовідділення, міцність.

### 1. Вступ

При будівництві нафтових та газових свердловин необхідні якісні полегшені тампонажні розчини, які забезпечать можливість експлуатації свердловин на протязі необхідного часу. Збільшення глибини свердловин, яка відмічається в останні роки, часто призводить до збільшення кількості горизонтів, які повинні бути роз'єднані, а цементний розчин доводиться піднімати до гирла свердловини. Для цієї мети використовуються полегшені цементи, що характеризуються великим водоцементним відношенням.

Полегшені цементи з ряду причин не завжди забезпечують якісне роз'єднання розкриваних пластів.

Полегшувальні добавки, що застосовуються, збільшують водовміщення цементних розчинів, знижують міцність цементного каменю, до того ж є седиментаційно не стійкі, характеризуються усадкою і підвищеною проникністю цементного каменю. У зв'язку з цим проблема розробки і впровадження в практику модифікованих полегшених тампонажних цементів є актуальною.

### 2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Створенню полегшених тампонажних цементів приділено увагу в багатьох публікаціях [1–6].