

УДК 621.336

Ю. Л. БОЛЬШАКОВ (ООО ГЛОРИЯ), И. С. ГЕРШМАН (ВНИИЖТ),  
В. Г. СЫЧЕНКО (ДНУЖТ)Кафедра Электроснабжение железных дорог, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел.: (056) 793-19-11, эл. почта: [elsnz@mail.ru](mailto:elsnz@mail.ru)**ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СОЗДАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ  
УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ВСТАВОК ТОКОПРИЕМНИКОВ  
ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА****Введение**

Одной из актуальных проблем для железнодорожного транспорта продолжает оставаться повышение надежности и увеличение ресурса работы токоъемных вставок (ТВ).

Анализ технических требований показывает, что ТВ должна удовлетворять многим взаимоисключающим условиям работы. С одной стороны это условия минимального износа КП при обеспечении надежного токоъема, а с другой – максимально возможный межремонтный пробег полоза токоприемника. Таким образом, материал вставки должен обладать рядом противоречивых и несовместимых свойств, иметь высокие физико-механические и антифрикционные характеристики, низкое удельное и переходное электросопротивление, высокую электроэрозионную стойкость.

В различных странах применяются ТВ из следующих материалов: медь и ее сплавы, порошковые материалы на железной и медной основах, углеродные и металлоуглеродные композиции. Такое, достаточно большое разнообразие, свидетельствует о сложности и нерешенности до настоящего времени проблемы выбора оптимального материала для ТВ.

По объему производства и потребления можно сделать вывод, что наибольшее распространение получили углеродные и металлоуглеродные вставки.

**Анализ существующих решений**

Существует значительный объем научно-технической и патентной информации в которой рассмотрены преимущества и недостатки использования ТВ из различных материалов [1]. В работе [2] на основании обширных исследований, опыта эксплуатации, а также учета влияния различных факторов на механическую и электрическую составляющие износа сделан вывод: углеродный материал ТВ, желателен, должен обладать плотностью, удельным электросопротивлением и дугостойкостью вставок

типа «Б», а физико-механическими характеристиками вставок типа «А». Свойства вставок «А» и «Б» подробно описаны в ГОСТ 14692-78.

Однако следует признать, что качественно новым, более гибким и открывающим новые возможности оказывается путь создания вставок на основе углеродметаллосодержащих композиций. Анализ указанного направления уделяется достаточное внимание со стороны специалистов [3, 4, 5]. Можно выделить несколько способов введения металлической составляющей в углеродный материал ТВ:

а) пропитка пористой углеродной заготовки жидким расплавом меди или ее сплавами;

б) добавка порошка меди на стадии приготовления шихты;

в) введение частиц графита или кокса с медным покрытием (плакирование) толщиной 5...15 мкм [6, 7];

г) металлическую составляющую добавляют в виде коротких волокон диаметром 0,1...0,5 мм и длиной 2...15 мм [8, 9, 10].

Вставки, которые изготавливаются методом (а) и серийно выпускаются зарубежными фирмами, обладают следующими характеристиками:  $\rho < 8$  мкОм·м,  $d = (2 - 3,5)$  г/см<sup>3</sup> и высокие показатели прочности и твердости [4].

Из технических решений самым нераациональным является способ (б), т.к. для заметного снижения  $\rho < 5$  мкОм·м необходимо, чтобы содержание металлического порошка в композиции составляло 30 масс. % и более. Это согласуется с общими представлениями об электропроводности полидисперсных наполненных структур [11]. При содержании меди более 30 масс.% в материале вставки из углеграфитового материала существенно увеличивается вероятность схватывания с КП.

Совершенствованием способов (а) и (б), несомненно, следует считать предложение [12], в котором удалось добиться смачивания медью поверхности модифицированного графитового материала. Это позволило получить опытные встав-

© Большаков Ю. Л. и др., 2013

ки с совершенной матричной структурой, низким значением  $\rho = 3,15 \text{ мкОм}\cdot\text{м}$  при содержании меди 25 масс. %. Признавая выгодные стороны способа (в), авторы должны отметить неосвоенность выпуска в промышленных масштабах означенных металлизированных гранул углеродного материала. Накопленные данные, дают основания сделать вывод, что введение в углеродный материал (УМ) металлических добавок различного вида и разными способами позволяет регулировать свойства ТВ в широких пределах.

**Основная часть**

Представляется интересным более подробно рассмотреть возможность снижения удельного электросопротивления ( $\rho_{ТВ}$ ) ТВ, без потери ее прочностных свойств, путем введения металлической составляющей в УМ.

Исходя из представлений теории проводимости гетерогенных структур, отдельные компоненты которой обладают существенно разными показателями электропроводности, общую зависимость  $\rho_{ТВ}$  от содержания добавки можно представить в виде графика (рис. 1).

Введение в УМ, имеющего значение удельного электросопротивления  $\rho_0$ , металлической добавки ( $x_M$ ) например порошка меди, имеет свои следующие характерные особенности. До значения  $x_M \leq x_0$  (нижняя граница) показатель  $\rho_{ТВ}$  практически не изменяется и равен  $\rho_0$  УМ (прямая линия графика рис. 1). При  $x_M > x_0$  наблюдается резкое, практически по экспоненте или степенной зависимости, снижение  $\rho_{ТВ}$ . Верхняя граница значения  $x_M = x_1$  характеризует график зависимости  $\rho_{ТВ} = f(\rho_0, \rho_M, x_M)$ , когда этот показатель композиционного материала ТВ становится близким к удельному электросопротивлению металлической составляющей, т.е.  $\rho_{ТВ} \approx \rho_M$ . Затем, при  $x_M > x_1$ ,  $\rho_{ТВ}$  вставки асимптотически стремится к величине  $\rho_M$ .

Естественным образом особенности технологи производства, пористость, дисперсность порошковых материалов и другое, накладывают определенные ограничения на возможно минимальную величину  $\rho_{ТВ}$ . Так в работах [13,14] приведены примеры, что даже для металлокерамических вставок на железной или медной основах  $\rho_{ТВ}$  составляет (0,11-0,3) мкОм·м.

Общий вид функции (рис.2)  $\rho_{ТВ}$ , представляющий интерес в практическом приложении может быть представлен в виде

$$\rho_{ТВ} = \rho_0 - (\rho_0 - \rho_1) \cdot ((x_M - x_0) / (x_1 - x_0))^n, \quad (1)$$

где  $x_M$  – текущее значение массового содержания металлической добавки (МД) в ТВ;

$x_0, x_1$  – нижняя и верхние границы содержания МД;

$\rho_0$  – удельное электросопротивление углеродной основы ТВ;

$\rho_1$  – предельное минимальное значение  $\rho_{ТВ}$  при  $x_M = x_1$ , и условии что УМ остается основой ТВ.

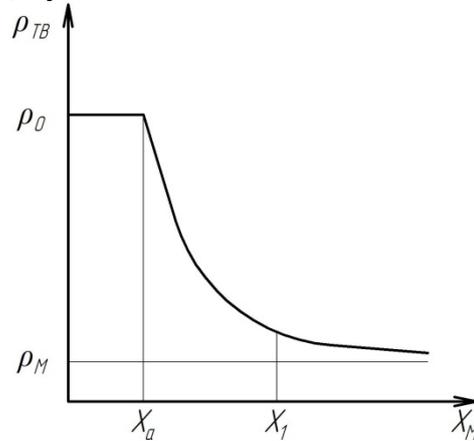


Рис. 1. Зависимость удельного электросопротивления ТВ от массового содержания металлической добавки

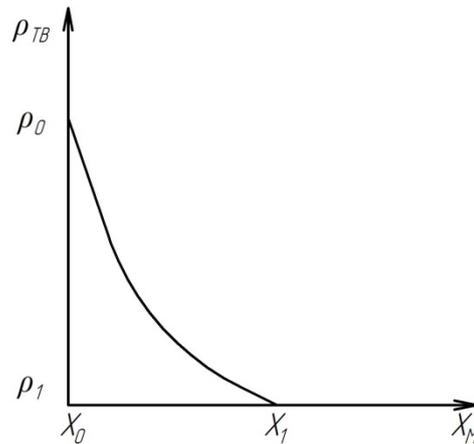


Рис. 2. Упрощенная практическая зависимость  $\rho_{ТВ}$  от содержания  $x_M$

Преобразование выражения (1) осуществим следующим образом. Значение показателя  $\rho_1$  представим в виде  $\rho_1 = k\rho_0$  и введем безразмерные величины:  $\rho_{ТВ} = \rho_{ТВ} / \rho_0$ ,  $x_M = (x_M - x_0) / (x_1 - x_0)$ . Тогда функция (1) запишется как:

$$\rho_{ТВ} = 1 - (1 - k) x_M^n, \quad (№)$$

где  $\rho_{ТВ}$  – изменяется от 1 до k;

$x_M$  – изменяется от 0 до 1.

Принимая во внимание теорию перколяции (протекания) [15], в которой одним из приложений рассматривается проводимость сильно неоднородных сред, для нашего случая порогом перколяции будет коэффициент k, а индексом перколяции показатель n. Когда  $\rho_0 = (25-35) \text{ мкОм}\cdot\text{м}$ , и  $\rho_1 = (1-3) \text{ мкОм}\cdot\text{м}$  коэффициент соотношения k будет равен 0,04-0,09.

Показатель  $n$  степенной функции(1), (2) в общем случае зависит от коэффициента  $k$ , т.е. от соотношения  $\rho_1 / \rho_0$  а также от значений  $x_0$ ,  $x_1$ . Если из большинства информативных источников величина  $x_0$  определяется довольно однозначно и составляет 0,1-0,15, то относительно значения  $x_1$  наблюдается существенное расхождение. В работе [4] приводятся данные свойств ТВ различных фирм производителей. Значение  $\rho_{ТВ}$  находится в пределах (1,2-8,5) мкОм·м при содержании меди от 30 до 60 масс.%. В каталоге фирмы Schunk для материалов марок А20-А41 на основе природного графита показатель  $\rho_{ТВ}$  составляет (2,5-20) мкОм·м при содержании меди от 25 до 50 масс.%.

Одной из причин таких расхождений, кроме использования различных схем производства и способов введения в шихту или тело вставки меди, является применение метода расчета по массовому содержанию. В теории перколяции доказано, что только учет объемного содержания компонентов в композиции позволяет правильно оценить влияние отдельных составляющих на ту или иную физическую характеристику изделия.

Объемное содержание меди ( $\phi_M$ ) в металлоуглеродной композиции, без учета пористости, определяется по формуле:

$$\begin{aligned} \phi_M &= x_M \cdot (d_T / d_M), & (3) \\ d_T &= (d_{UM} d_M) / (x_M d_{UM} + x_{UM} d_M), \\ x_{UM} + x_M &= 1, \end{aligned}$$

где  $x_{UM}$ ,  $x_M$  – содержание УМ и меди в композиции соответственно, масс.%;

$d_M$  – пикнометрическая плотность меди;

$d_{UM}$  – средневзвешенная пикнометрическая плотность смеси углеродных материалов;

$d_T$  – теоретическая плотность композиции, рассчитываемая по правилам аддитивности.

Например, при  $x_M = 0,4$ ,  $d_M = 8,9 \text{ г/см}^3$ ,  $d_{UM} = 2,0 \text{ г/см}^3$  получаем значение  $\phi_M \approx 0,13$ . Для получения ТВ с низким удельным электросопротивлением (< 5мкОм.м) и обеспечением высоких прочностных свойств такое объемное содержание медного порошка явно недостаточно [16].

Из приведенных выше рассуждений и аналитических примеров видно, что введение просто медного порошка в шихту УМ при производстве ТВ, является малоэффективным и дорогостоящим методом. Кроме того, как показано в работах [12, 17] резко возрастает вероятность схватывания одноименных материалов ТВ и КП во время эксплуатации при содержании меди >35 масс.%. Этот эффект, наряду, с повышенным износом КП будет

только усугубляться при высокоскоростном движении электропоездов.

В результате, за рубежом металлоуглеродные ТВ серийно выпускают путем пропитки расплавами меди пористой углеродной заготовки. Фирмой Hoffmann [18] предлагается при создании графита высокой плотности, марок SK85ACu, SK01ACu и др., изготавливать углеродную ТВ с направленной сквозной пористостью (ориентированные микротрещины). После последующей пропитки медью, образуются непрерывные электропроводящие мостики (каналы). Насыщение медью этих прожилок в объеме 20-30% массы графита обеспечивает естественное прохождение тока от точки соприкосновения ТВ с КП до металлического основания полоза без перегрева. В этой же работе приводятся данные, что средний пробег токоприемников, оборудованных углеродными и металлоуглеродными ТВ при скоростях движения (140-270)км/ч, практически, в 2 раза больше по сравнению с металлическими ТВ.

Метод (г), в котором композиционно-углеродный материал получается путем его объемно-дискретного армирования металлическими волокнами (МВ), оказывается существенно отличным от других рассмотренных способов производства металлоуглеродных ТВ. Необходимо отметить, что введение МВ на стадии приготовления шихты УМ обуславливает выбор способа прессования заготовки ТВ и специальную технологию их термообработки.

Многочисленные эксперименты, проведенные авторами статьи, показывают резкое(10-15 раз) снижение  $\rho_{ТВ}$  ТВ при содержании МВ в пределах 15-25 масс.%. Потери прочностных и антифрикционных свойств таких металлоуглеродных ТВ не происходит. При этом, как свидетельствуют натурные испытания, значительно уменьшается количество сколов и растрескиваний на поверхности вставок из-за прогнозируемого повышения ударной прочности материала. Например, при 22 масс.% медных МВ в УМ состава «А» обычных угольных вставок, ТВ получается со следующими характеристиками:  $\rho_{ТВ} = (2-4) \text{ мкОм.м}$ , HRC (10/150)=70-75,  $d_{ТВ} = (2,0-2,2) \text{ г/см}^3$ ,  $f_{тр} = 0,15-0,17$  (по меди КП).

Такой, наблюдаемый, положительный эффект объясняется существенно различными объемно-геометрическими характеристиками волокнистых и порошковых материалов. Для материалов однородных по свойствам замещение объемного содержания частиц порошка дискретным волокном наглядным образом проявляется через коэффициенты соотношения  $n_v n_s$ .

$$n_v = V_B/V_q = 1,5 L_B D_B^2/D_q^3, \\ n_s = S_B/S_q = L_B D_B/D_q^2, \quad (4)$$

где  $V_B, S_B$  – объем и боковая поверхность единичного дискретного волокна диаметром  $D_B$  и длиной  $L_B$ ;

$V_q, S_q$  – объем и боковая поверхность одной порошковой частицы диаметром  $D_q$ .

Диаметр  $D_q$  порошкового материала определяется как средневзвешенный по фракциям из ситового анализа, или как эквивалентный по измерению удельной поверхности порошка. Для меди, при  $D_B = 0,2$  мм,  $L_B = 10$  и  $D_q = 0,1$  мм (порошок марки ПМС-1) выходит, что  $n_v = 600$ ,  $n_s = 200$ . Расчеты проведенные, с помощью компьютерных программ, для различных по форме полидисперстных порошковых материалов (шарообразных, чешуйчатых и др.) также подтвердили правильность полученных соотношений  $n_v, n_s$ , т.е.  $n_v \gg n_s$ .

Таким образом, для эквивалентного объемного замещения одного дискретного волокна необходимо  $n_v$  частиц порошкового материала. Суммарная площадь боковой поверхности этих  $n_v$  частиц всегда, при определенных условиях выбора, больше боковой поверхности единичного волокна. Количество межчастичных контактов, переходное сопротивление которых превышает таковое материала, между частицами УМ основы и частицами порошкового металлического материала резко увеличивается, по сравнению с волокнистыми композиционными материалами, и пропорционально  $n_v^2$ .

В итоге ожидаемое снижение  $\rho_{ТВ}$  углеродного материала ТВ, при небольших содержаниях (10-15 масс.%) вводимого металлического порошка, незначительно и к должному эффекту не приводит. Кроме того, необходимо учитывать факт, что при обычных термохимических условиях спекания эффект смачивания поверхности УМ медью отсутствует, псевдосплав «углерод + медь» не образуется, и химическая связь на межфазной границе отсутствует.

### Выводы

Анализ информативных источников, данные экспериментальных и теоретических исследований позволяют обоснованно сделать следующие выводы:

1. Создание ТВ на углеродной основе с добавлением металлических порошков следует

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Большаков Ю.Л., Гершман И.С., Сыченко В.Г. Основные направления создания новых композиционных материалов для вставок токоприемников

признать малоэффективным, дорогостоящим направлением. Введение их в небольших количествах (до 5%) можно рассматривать только в том случае, если они оказывают каталитическое действие и способствуют образованию вторичных структур [4].

2. Разработка ТВ на углеродной основе с повышенной токовой нагрузочной способностью, дугостойкостью, низким удельным электросопротивлением ( $< 5$  мкОм.м) с одновременным сохранением высоких прочностных свойств и антифрикционных характеристик, а также малой интенсивности изнашивания КП, возможна на основе композиционных волокнистых материалов. Наряду с означенными положительными свойствами это обеспечивает минимально возможное содержание ( $< 25\%$ ) металлической составляющей, повышение ударной прочности тела ТВ, высокую экономическую эффективность внедрения метода в серийное производство, а следовательно приемлемую для конечного потребителя стоимость продукции.

3. Учет структуры и дисперстности шихты УМ, особенностей технологии термообработки позволил сделать рациональный выбор геометрических характеристик МВ: диаметр – (0,1-0,3) мм, длина – (5-15) мм.

4. Комбинация «УМ+МВ» обеспечивает получение ТВ с направленной анизотропией электро- и теплофизических свойств за счет варьирования способа прессования (выдавливание, в «гладкую» матрицу, комбинированный).

5. Наиболее рациональным и перспективным являются такие варианты состава армированных ТВ:

- УМ + медные МВ (20-25 масс.%)
- УМ + медные МВ (20 масс.%) + дискретные углеродные волокна (5 масс.%)
- УМ + медные МВ (15-20 масс.%) + никелиевые МВ (5-10 масс.%)

Массовое содержание МВ указано по отношению к УМ. На основании многолетней эксплуатации угольных ТВ и опыта различных фирм-производителей, полидисперстная шихта УМ должна содержать (без учета связующего): 3-7% техуглерода (П803 и др.), 10-15% искусственного графита (можно в сочетании с натуральным графитом), остальное прокаленный кокс.

### REFERENCES

1. Bol'shakov Yu.L., Gershman I.S., Sychenko V.G. Osnovnye napravleniya sozdaniya novykh kompozitsionnykh materialov dlya vstavok tokopriemnikov elektrotransporta [The main directions of development

© Большаков Ю. Л. и др., 2013

электротранспорта. Вестник ДНУЖТ им. акад. В. Лазаряна. - Вып. №13 – 2006 – с.14-20.

2. Вологин В.А. Взаимодействие токоприемников и контактной сети. – М.:Интекст,2006-256с.

3. Гершман И.С. Токосъемные углеродные материалы нового поколения / И.С. Гершман, Л.М. Бучиев // Вестник ВНИИЖТ, 2003. - №6.

4. Гершман И.С. Токосъемные углеродно-медные материалы // Вестник ВНИИЖТ, 2002. - №5 - С.15-20.

5. Берент В.Я. Перспективы улучшения работы сильноточного скользящего контакта «контактный провод – токосъемный элемент полоза токоприемника» // Железные дороги мира, 2002. - № 10.

6. Зозуля В.Д. Эксплуатационные свойства порошковых подшипников.- Киев, 1989.-288с.

7. Пат. № 48851 (Украина). Оpubл. 15.06.2004. Бюл. №6.

8. Пат. № 5158828 (США). Оpubл. 27.10.1992.

9. Пат. № 2160665 (Япония) Оpubл. 20.06.1990.

10. Пат. № 74952 (Украина). Оpubл. 15.02.2006.

11. Гуль В.Е. Электропроводящие полимерные композиции/ В.Е. Гуль, Л.З. Шенфиль.-М., 1984.-240 с.

12. Гершман И.С. Разработка износостойких материалов с помощью методов неравновесной термодинамики на примере скользящих электрических контактов.- Диссертация на соискан. учен. степени док. технич. наук – М., 2006.- 234 с.

13. Берент В.Я., Ранек Л.Н. Электроконтактные характеристики сильноточного контакта – токосъемные элементы полоза токоприемника – контактный провод // Вестник ВНИИЖТ, 1992. -№6. –с. 36-41.

14. Нишпоренко О.С. и др. Применение распыленного медного порошка для получения медно-графитовых контактов. – Порошковая металлургия, 1986. -№2. –с. 63-68.

15. Шкловский Б.И., Эфрос А.Л. Теория протекания и проводимость сильно неоднородных сред// УФН, 1975.- т.117, вып. 3. – с. 401-434.

16. Соцков В.А., Карпенко С.В. Общие закономерности процессов электропроводности в бинарных макросистемах // ЖТФ, 2003. – т.73, вып.1 – с.106-109.

17. Берент В.Я. Новый токосъемный материал для скользящего контакта электрического транспорта / В.Я Берент, М.Ю. Крумина и др. // Вестник машиностроения, 1981. - №12. – С. 21-23.

18. Графит высокой плотности для контактных вставок токоприемников. – Железные дороги мира, 2011. - №7. – с. 44-51.

Поступила в печать 25.04.2013.

**Ключевые слова:** токоприемник, токосъем, качество, токосъемный элемент, армирование.

of new composite materials for surface inserts electric]. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universitetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazaryana [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport], 2006, no. 13, pp. 14-20.

2. Vologin V.A. Vzaimodeystvie tokopriemnikov i kontaktnoy seti [The interaction of pantographs and catenary]. Moscow, Intekst Publ., 2006, 256 p.

3. Gershman I.S., Buchiev L.M. Tokosemnye uglerodnye materialy novogo pokoleniya [Collector carbon materials of new generation]. Visnyk Vserossiyskoho nauchno-issledovatel'skoho instituta zheleznodorozhnogo transporta [Bulletin of All-Russian Scientific Research Institute of Railway Transport], 2003, no. 6.

4. Gershman I.S. Tokos'emnye uglerodno-mednye materialy [Collector carbon-copper materials]. Visnyk Vserossiyskoho nauchno-issledovatel'skoho instituta zheleznodorozhnogo transporta [Bulletin of All-Russian Scientific Research Institute of Railway Transport], 2003, no. 5, pp. 15-20.

5. Berent V.Ya. Perspektivy uluchsheniya raboty sil'notochnogo skol'zyashchego kontakta «kontaktnyy provod – tokos'emnyy element poloza tokopriemnika» [Prospects for improving the work of the high-current sliding contact "contact wire - the current collection element of pantograph"]. Zheleznyye dorogi mira - Railways of the World, 2002, no.10.

6. Zozulya V.D. Ekspluatatsionnye svoystva poroshkovykh podshipnikov [Performance properties of powder bearings]. Kiev, 1989, 288 p.

7. Patent, no. 48851, 2004.

8. Patent, no. 5158828, 1992.

9. Patent, no. 2160665, 1990.

10. Patent, no. 74952, 2006.

11. Gul' V.E., Shenfil' L.Z. Elektroprovodyashchie polimernyye kompozitsii [Conductive polymer compositions]. Moscow, 1984, 240 p.

12. Gershman I.S. Razrabotka iznosostoykikh materialov s pomoshch'yu metodov neravnovesnoy termodinamiki na primere skol'zyashchikh elektricheskikh kontaktov. Dr., Diss. [Development of wear-resistant materials using methods of nonequilibrium thermodynamics for example, sliding electrical contacts. Dr. Sci. Diss.]. Moscow, 2006, 234 p.

13. Berent V.Ya., Ranek L.N. Elektrokontaktnyye kharakteristiki sil'notokovogo kontakta – tokos'emnye elementy poloza tokopriemnika – kontaktnyy provod [Electrical contact characteristics of high current contact - the pantograph elements - contact wire]. Visnyk Vserossiyskoho nauchno-issledovatel'skoho instituta zheleznodorozhnogo transporta [Bulletin of All-Russian Scientific Research Institute of Railway Transport], 1992, no. 6, pp. 36-41.

14. Nishporenko O.S. Primenenie raspylennogo mednogo poroshka dlya polucheniya medno-grafitovykh kontaktov [The use of atomized copper powder to form copper-graphite contacts]. Poroshkovaya metallurgiya - Powder metallurgy, 1986, no. 2, pp. 63-68.

15. Shklovskiy B.I., Efros A.L. Teoriya protekaniya i provodimost' sil'no neodnorodnykh sred [Percolation theory and conductivity of strongly inhomogeneous media].

16. Sotskov V.A., Karpenko S.V. Obshchie zakonomernosti protsessov elektroprovodnosti v binarnykh makrosistemakh [General regularities of the electrical conductivity in binary macrosystems].

17. Berent V.Ya., Kruminya M.Yu. Novyy tokos'emnyy material dlya skol'zyashchego kontakta elektricheskogo transporta [The new collector material for sliding contact electrical transport]. Vestnik mashinostroeniya - Bulletin of engineering, 1981, no.12, pp. 21-23.

18. Grafit vysokoy plotnosti dlya kontaktnykh vstavok tokopriemnikov [High-density graphite for contact surface inserts]. Zheleznyye dorogi mira - Railways of the World, 2011, no.7, pp. 44-51.

Статья рекомендована к печати д.т.н., профессором Г. К. Гетьманом

Повышение качества токосъема и увеличение ресурса токосъемных элементов является на сегодняшний день одной из актуальных проблем развития электрифицированного скоростного транспорта. Токосъемные элементы должны отвечать нескольким взаимоисключающим друг друга требованиям: высокие физико-механические и антифрикционные характеристики, низкое удельное и переходное электрическое сопротивление, высокая электроэрозионная стойкость.

Анализ научно-технической литературы показывает, что наибольшее распространение в качестве токосъемных элементов имеют углеродные металло-углеродные компоненты. Следует отметить, что существует целый ряд способов и технологий улучшения указанных токосъемных элементов.

В статье рассматривается методология получения токосъемного материала с низким электрическим сопротивлением и высокими прочностными свойствами. Основой его является соблюдение принципа эквивалентности замещаемых объемов волокнистых и порошковых материалов. В результате выполненных авторами экспериментальных исследований приведены рекомендации по составам армированных токосъемных элементов.

## УДК 621.336

Ю. Л. БОЛЬШАКОВ (ООО ГЛОРИЯ), І. С. ГЕРШМАН (ВНДІЗТ), В. Г. СИЧЕНКО (ДНУЗТ)

Кафедра Електропостачання залізниць, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел.: (056) 793-19-11, ел. пошта: [elsnz@mail.ru](mailto:elsnz@mail.ru)

## ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМИ СТВОРЕННЯ СУЧАСНИХ ВУГЛЕЦЕВИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ВСТАВОК СТРУМОПРИЙМАЧІВ ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ

Підвищення якості струмознімання і збільшення ресурсу струмоз'ємних елементів є на сьогоднішній день однією з актуальних проблем розвитку електрифікованого швидкісного транспорту. Струмознімальні елементи повинні відповідати кільком взаємовиключним один одного вимогам: високі фізико-механічні та антифрикційні характеристики, низький питомий і перехідний електричний опір, висока електроерозійна стійкість.

Аналіз науково-технічної літератури показує, що найбільше поширення в якості струмоз'ємних елементів мають вуглецеві метал-вуглецеві компоненти. Слід зазначити, що існує цілий ряд способів і технологій поліпшення зазначених струмоз'ємних елементів.

У статті розглядається методологія отримання струмознімального матеріалу з низьким електричним опором і високими міцнісними властивостями. Основою його є дотримання принципу еквівалентності заміщуваних обсягів волокнистих і порошкових матеріалів. В результаті виконаних авторами експериментальних досліджень наведені рекомендації по складах армованих струмоз'ємних елементів.

**Ключові слова:** струмоприймач, струмознімання, якість, струмознімальний елемент, армування.

Статтю рекомендовано до друку д.т.н, професором *Г. К. Гетьманом*

## UDC 621.336

Y. L. BOLSHAKOV (GLORIYA LTD), I. S. GERSHMAN (VNIIZHT), V. G. SICHENKO (DNURT)

Department of Power supply of Railways, Dnepropetrovsk National University of Railway Transport named after academician V. Lazaryan, 2 Lazaryan Street, Dnepropetrovsk, Ukraine, 49010, tel.: (056) 793-19-11, e-mail: [elsnz@mail.ru](mailto:elsnz@mail.ru)

## PERSPECTIVE DIRECTIONS OF DEVELOPMENT OF MODERN CARBON MATERIALS FOR ELECTRIC SURFACE INSERTS

Improving the quality of current collection and increase the resource of current collector elements is by far one of the most pressing problems of the electrified high-speed transport. Collector elements must meet several mutually exclusive requirements: high physical and mechanical and anti-friction characteristics, low resistivity and transient electrical resistance, high resistance spark.

Analysis of the scientific literature shows that the most widely used as a current collector metal elements are carbon components. It should be noted that there are a number of methods and technologies for improving said current collecting elements.

This article discusses methodology for collector material having low electric resistance and high strength properties. The basis of its adherence to the principle of equivalence volumes of substitutable fibrous and powdered materials. As a result of the authors' experimental study provides recommendations on the composition of the reinforced slip- elements.

**Keywords:** collector, current collector, the quality, the current collection element, reinforcement.

Prof. *G. K. Getman*, D. Sc. (Tech.) recommended this article to be published.