

Полученный критерий оптимальности охватывает задачи, решаемые на всех уровнях управления транспортной системой городских пассажирских перевозок, и может быть использован для формирования взаимно согласованных частных критериев при решении конкретных транспортных задач. Трансформация многоцелевого критерия под решаемую частную задачу проводится путем исключения из рассмотрения всех тех составляющих критерия, которые зависят только от переменных, не принимаемых во внимание в данной задаче.

1. Расчеты автоматизированных систем управления / Г.В. Дружинин, Э.К. Лецкий, В.И. Панкратов и др. – М.: Транспорт, 1985. – 223 с.

3. Лігум Ю.С. Інформаційні системи на транспорті. – К.: УТУ, 2000. – 196 с.

4. Гюлев Н.У. Выбор рационального количества автобусов на маршрутах города с учетом человеческого фактора: Дисс.... канд. техн. наук: 05.22.02. – Харьков, 1993. – 139 с.

5. Коноплянко В.И. Организация и безопасность дорожного движения. – М.: Транспорт, 1991. – 183 с.

*Получено 22.08.2005*

УДК 621.336.3

В.Ф.ДАЛЕКА, д-р техн. наук

*Харьковская национальная академия городского хозяйства*

В.А.ШМАТКОВ, канд. техн. наук, И.А.БАБУТИН

*Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт городского хозяйства, г.Киев*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ГРАФИТ-ПОЛИМЕР ДЛЯ ПОДВИЖНЫХ КОНТАКТОВ ТОКОСЪЕМА ТРОЛЛЕЙБУСОВ**

Рассматриваются вопросы повышения экологичности, экономичности и надежности токосъема троллейбусов на основе выбора материалов контактных вставок.

Вопросы экологии в настоящее время становятся все более актуальными и требуют незамедлительного решения. Одним из основных источников вредных выбросов в больших городах является автотранспорт. Расширение сети электротранспорта позволяет значительно снизить вредные выбросы в атмосферу. Однако эта задача может быть с успехом решена при использовании на электротранспорте также экологически чистых расходных материалов. Данная работа посвящена оценке ситуации, сложившейся в Украине при использовании на троллейбусах несертифицированных контактных вставок токоприемников.

На основании исследований и опыта использования на протяжении длительного периода контактных вставок токоприемников электроподвижного состава установлены основные требования, предъяв-

ляемые к материалу вставок [1-4]. Основным требованием при работе пары трения контактная вставка-провод является минимальный износ контактного медного провода с одновременным обеспечением качественного токопровода, чем определяется, в основном, его экономичность и надежность. Большое влияние на эксплуатационные характеристики вставки оказывает также и электрическое сопротивление ее материала. Материалы, применяемые для изготовления контактных вставок, можно разделить на две большие группы: материалы на основе металлов (железо, медь, алюминий и т.д.) и материалы на основе графита с использованием полимеров в качестве связующего.

Использование возможностей порошковой металлургии позволило разработать широкую гамму контактных материалов на основе порошков меди, железа, алюминия и других металлов, в состав которых входит графит, выполняющий роль как твердой смазки, так и электропроводящего компонента. Однако, количество вводимого графита в порошковые композиции обычно не превышает 1-5%, что связано с процессами формования и спекания изделия.

Предварительные исследования материалов на основе железа показали их высокую износостойкость, однако они не нашли широкого применения из-за существенного износа контактного провода при постоянном изменении условий трения в контактном узле, связанные с погодными условиями, скоростными режимами, токовыми и механическими нагрузками. Ограничивает использование вставок на металлических основах и высокая цена, определяемая стоимостью компонентов (металлических порошков) и технологией изготовления с использованием высоких температур и защитной атмосферы.

Анализ последних достижений и публикаций показывает, что наиболее широкое распространение получили контактные вставки на основе графита с использованием полимеров в качестве связующего. Применение полимерной связки позволяет вводить в композиты графит в широких пределах и сокращать время получения готового изделия за счет совмещения операций формования и полимеризации. При выборе компонентов материала вставки немаловажную роль играет цена, и это приводит к широкому использованию недорогих отходов графитовых производств, что может вызывать широкий разброс свойств контактных вставок. Так, в качестве сырья для производства вставок могут использоваться отходы на основе угольно-графитовых, графитовых и металлографитовых композиций. Угольно-графитовые композиции, применяемые для производства электродов, содержат в своем составе до 60% кокса, обладают высокой твердостью (70-90 ед. по Шору) и повышенным электрическим сопротивлением

( $30 \div 100 \cdot 10^{-6}$  Ом·м). Угольно-графитовые композиции содержат и наибольшее количество золы. Также установлено, что графитовые композиции способствуют образованию “политуры” на контртеле, которая положительно влияет на срок службы контактной пары .

Большое влияние на работу данного узла трения оказывает электрическое сопротивление материала из-за возможности искрения и разогрева при протекании электрического тока, что при определенных условиях может привести к деструкции полимерной связки и разрушению контактного материала вставки [4]. Удельное электрическое сопротивление контактных вставок на графитовой основе не должно превышать  $50 \cdot 10^{-6}$  Ом·м, прочностные характеристики при испытании на изгиб не ниже  $5 \text{ кг/мм}^2$ . Однако эти требования не учитывают натуральных условий эксплуатации токосъемников троллейбусов в большей мере связанных с погодными условиями.

Целью данной статьи является определение материалов контактных вставок токоприемников троллейбусов для повышения экономичности и надежности токосъема.

Для оценки характеристик контактных материалов применяемых в узлах токосъема троллейбусов в Украине в ИПМ совместно с НПП “Фриз” были проведены сравнительные испытания по изучению фрикционных и механических характеристик, а также их электрического сопротивления. Исследовали используемые в токосъемниках троллейбуса вставки производства г.Запорожья, НПП “Фриз”, выпускавшиеся на заводе им. Дзержинского г.Киева, контактные вставки на медной основе производства России и экспериментальные вставки на алюминиевой основе, изготовленные в ИПЛ НАН Украины.

Фрикционные характеристики изучались на машине трения М-22М по схеме контакта пары трения образца и контртела “плоскость - вал”. Контртело изготавливали из меди, поверхность упрочняли накаткой до твердости 100-130 НВ. Скорость скольжения составляла 3 м/с, нагрузка на образец – 18 кг, путь трения – 10 км. Трение производилось без смазки и с водой. На одном образце выполняли не менее трех испытаний. В процессе испытаний непрерывно регистрировали линейный износ пары трения и температуру испытуемого образца. Для вычисления интенсивности изнашивания образца и контртела взвешивание проводили на лабораторных весах с погрешностью не более 0,0002 г по ГОСТ 24104-80. Для измерения площадки износа и размеров пятна контакта использовали оптический микроскоп МБС-9.

Механические свойства материалов на изгиб определяли при трех точечном изгибе образцов сечением  $10 \times 10$  мм по ГОСТ 18228-94,

электрическое сопротивление образцов изучали с помощью моста постоянного тока Р3009.

При разработке новых графит-полимерных композиций в НПП “Фриз” в качестве связующего компонента применяли новолачную смолу. В экспериментах использовали графит “серебристый” и отходы, полученные при производстве изделий из электродного графита. Смешивание композиций осуществляли в баночном смесителе. Дополнительный размол смеси проводили в вибромельнице при соотношении шихты и шаров 1:10 и времени размола 0,5 ч. Полимеризацию образцов проводили в нагреваемой пресс-форме под давлением 100 МПа при температуре 180 °С из расчета прогрева 1 мм сечения в минуту.

Как показали испытания образцов на изгиб, наибольшую механическую прочность имеют образцы на алюминиевой основе. Этот материал имеет и наименьшее удельное электрическое сопротивление, что обусловлено физическими свойствами алюминия. Фрикционные испытания контактного материала на алюминиевой основе показали, что материал контакта налипает на контртело в большей степени, чем остальные образцы при трении всухую, и катастрофически изнашивает контртело при трении с водой. Износ материала контакта также наибольший из всех испытанных (таблица). Налипание материала на контртело и высокий износ можно объяснить склонностью алюминия к образованию соединений с медью и прихватуванию отдельных частиц к контртелу.

|       | Прочность на изгиб, кг/см <sup>2</sup> | Удельное электрическое сопротивление Ом·мм <sup>2</sup> /м | Коэффициент трения при трении всухую | Износ вставки при трении всухую | Износ провода при трении всухую | Коэффициент трения при трении с водой | Износ вставки при трении с водой | Износ провода при трении с водой |
|-------|--|--|--------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| СТАНД | 5,1                                    | 10,8   | 0,14                                 | 23                              | 0,9                             | 0,11                                  | 19,6                             | 0,75                             |
| ИПЛ   | 13                                     | 0,02   | 0,67                                 | 858                             | -0,75                           | 0,45                                  | 750                              | 14                               |
| ЗПРОЖ | 12,2                                   | 0,02   | 0,578                                | 1464                            | -0,65                           | 0,64                                  | 579                              | 5                                |
| ФРИЗ  | 5,1                                    | 4,7  | 0,1                                  | 27,5                            | -0,6                            | 0,096                                 | 14                               | -0,8                             |

Высокий износ материала вставки наблюдался также и у образца на медной основе (таблица). Такие материалы для стабильной работы контактной пары должны содержать в своем составе не менее 30% весовых графита, что требует применения особых технологических приемов при их производстве и ведет к повышению цены изделия.

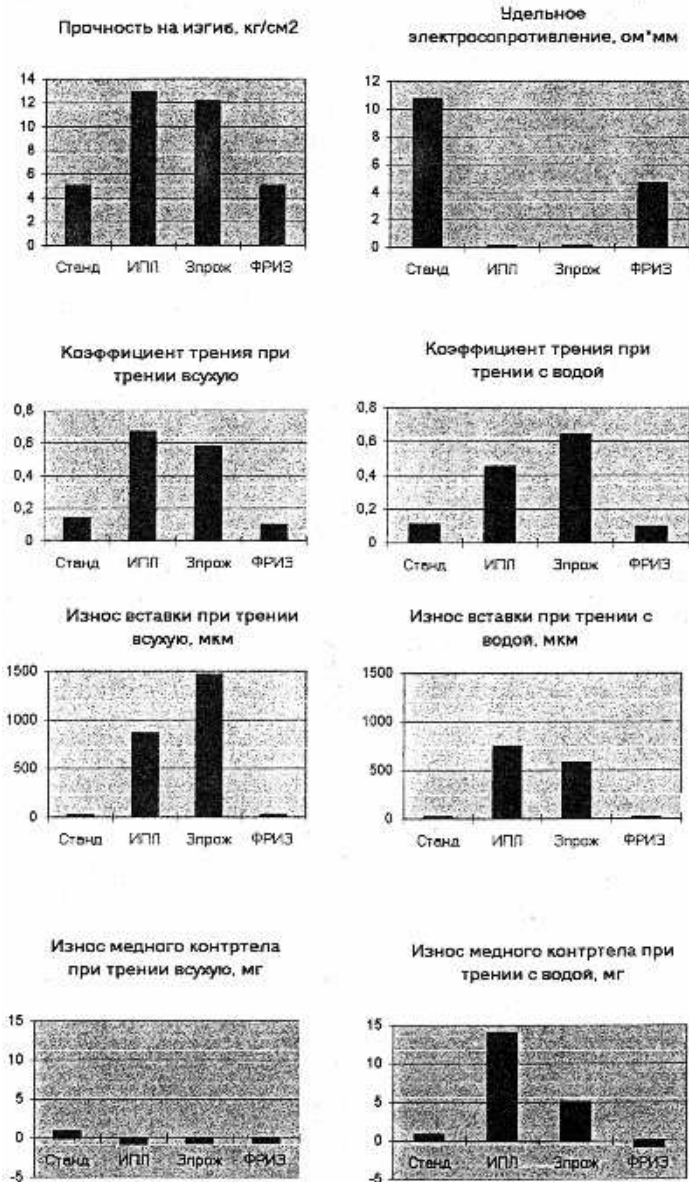
Механические свойства у образцов на основе графита с полимер-

ной связкой ниже, чем у материала на алюминиевой основе, а удельное электрическое сопротивление – выше (рисунок). Минимальные свойства показал материал вставки, выпускавшейся на заводе им. Держинского. Это вызвано повышенной пористостью материала, которая сформировалась из-за несовершенства технологии формования и полимеризации, применявшейся на данном предприятии. Материал вставки, выпускаемой предприятием г.Запорожья, имеет высокие механические свойства, однако фрикционные испытания показали, что материал изнашивает контртело при незначительном износе образца и имеет электрическое сопротивление значительно выше, чем у образцов из «серебристого» графита. Вероятно, при изготовлении этих вставок использовали угольно-графитовое сырье, обладающее высокой твердостью и повышенным электрическим сопротивлением.

Как показали исследования материалов НПП «Фриз» г.Киева, полученных из смесей с различным соотношением графита и связующего, на механические, фрикционные свойства и электрическое сопротивление оказывает влияние не только соотношение графита и полимерной связки, но и природа графита, условия подготовки шихты. Так, использование «серебристого» графита позволяет уменьшить электрическое сопротивление материала до  $16 \times 10^{-6}$  Ом·м, но не обеспечивает, при прочих равных условиях, высоких механических свойств, что можно объяснить высокой удельной поверхностью порошка ( $10\text{--}50$  мм<sup>2</sup>/г) и физическими свойствами «серебристого» графита. Отходы производства электродного графита, которые использовали при получении образцов, имеют размер частиц больше ( $0,1\text{--}0,2$  мм) и более высокую прочность по сравнению с частицами «серебристого» графита, что позволило получить образцы с высокими прочностными характеристиками (до  $5,1$  кг/мм<sup>2</sup>) и повышенным электрическим сопротивлением ( $50 \times 10^{-6}$  Ом·м). Применение совместного размолки компонентов шихты вместо смешивания в баночном смесителе позволило получить материал с более высокими механическими свойствами – до  $8,1$  кг/мм<sup>2</sup>, при неизменном содержании связующего. Фрикционные характеристики материала при этом улучшаются (см. таблицу). Это можно объяснить высокой равномерностью распределения смолы по объему материала, обволакиванием частичек графита смолой и образованием полимерного каркаса с большей плотностью, о чем говорит и повышение электрического сопротивления материала.

Использование смесей графита «серебристого» и отходов электродного графита позволяет не только уменьшать электрическое сопротивление, но и минимизировать износ материала контртела за счет образования пленки при намазывании графита на контртело («сухой

смазки”).



Результаты испытаний вставок и медных проводов

Сравнительные испытания материалов токоприемных вставок на углеродной основе, использующихся в настоящее время, показали, что их применение приводит к существенному износу контактного провода, электрическое сопротивление этих композиций также превышает рекомендованные величины, что может способствовать повышенному искрению при работе контактной пары, приводящему к интенсивному электрическому износу контактного узла.

Использование отходов углеграфитовых и графитовых производств для удешевления контактных вставок требует проведения предварительных испытаний с целью оптимизации состава материала для исключения износа контактного провода.

Худшим вариантом является использование вставок на основе алюминия, который при трении вступает во взаимодействие с медным проводом, что приводит к интенсивному износу контактного провода и вставки.

Для изучения эксплуатационных характеристик разработанных опытных графитополимерных составов необходимо провести натурные испытания вставок с целью оптимизации составов и технологических режимов их получения, что позволит выработать требования для сертификации материала, применяемого в качестве контактных вставок троллейбусов.

1.Беляев И.А., Михеев В.П., Шиян В.А. Токоъем и токоприемники электроподвижного состава. – М.: Транспорт, 1976. –184 с.

2.Далека В.Ф. Повышение экономичности токоъема подвижного состава горэлектротранспорта // Тезисы XXVII науч.-техн. конф. преподавателей, аспирантов и сотр. ХИИГХ. – Харьков: ХИИГХ, 1994. – С.1.

3.Далека В.Ф. Пути снижения расхода быстроизнашиваемых элементов скользящего контакта «полос токоприемника - провод» // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Вып. 10. – К.: Техніка, 1997. – С.124-127.

4.Далека В.Х. Резерви зменшення втрат енергії у контактних провадах систем електропостачання миського електротранспорту // Зб. статей Міжнародн. наук. конф. “Інформаційні технології на транспорті. Стан справ та основні напрямки розвитку”. – К.: УТУ, 1998. – С.68-69.

*Получено 06.12.2005*

УДК 629.11.012.55

И.Г.МИРЕНСКИЙ, д-р техн. наук, О.Ф.БАБИЧЕВА, канд. техн. наук  
*Харьковская национальная академия городского хозяйства*

## **ПОВЫШЕНИЕ РЕСУРСА ПНЕВМАТИЧЕСКИХ ШИН ТРОЛЛЕЙБУСОВ**

Анализируется влияния ряда факторов на надежность шин, предлагаются рекомендации по повышению их ресурса.