

УДК 621.891:620.22

## **ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ С ЗАДАНЫМИ СВОЙСТВАМИ В УЗЛАХ ТРЕНИЯ МАШИН**

**Н.Г. Меликсетян, А.Н. Карапетян, К.В. Оганесян, В.В. Сароян**

*Национальный политехнический университет Армении*

Представлены результаты исследования полимерных композитов антифрикционного и фрикционного назначения с управляемыми и заранее заданными свойствами на основе алгоритмов оптимального выбора материалов пар трения, которые дают возможность выявить основные факторы, определяющие работоспособность полимерных композитов. Составлена блок-схема трибологических свойств пар трения полимер-полимер для проектирования узлов трения, работающих в режиме самосмазывания. Проведенные исследования дополнили существующие представления о влиянии зазора на стартовый процесс полимер-полимерных микроподшипников скольжения, когда происходит переход статического трения на кинетическое. Найдены оптимальные значения диаметрального зазора микроподшипника скольжения, обеспечивающие минимальные значения коэффициента трения и износа сопряженных деталей. Установлено существенное влияние нагрузки, скорости скольжения и времени предварительного контакта на трибологические свойства пары трения полимер-полимер.

Предлагается полимерный композит фрикционного назначения для тормозов грузовых вагонов железнодорожного транспорта. Сравнительные стендовые испытания показали, что в условиях высоких скоростей (выше 120 км/ч) тормозные колодки из разработанного полимерного композита фрикционного назначения сохраняют повышенные и стабильные значения коэффициента трения по сравнению с колодками из чугуновых, металлокерамических и композиционных полимерных материалов. Анализ режимных параметров показал, что тормозные колодки железнодорожных вагонов должны обеспечивать высокие трибологические характеристики в более широком диапазоне поверхностных температур при сравнительно низких удельных давлениях и высоких скоростях скольжения, чем колодки автомобильных тормозов. Предлагаемый материал соответствует требованиям международных стандартов и может быть рекомендован для дальнейших дорожных эксплуатационных испытаний в горных условиях.

**Ключевые слова:** зазор, микроподшипник, коэффициент трения, износ, алгоритм, тормоз, полимерный композит.

**Введение.** В настоящее время номенклатура полимерных композитов (ПК) фрикционного и антифрикционного назначения насчитывает сотни наименований с различными уникальными свойствами. Сочетание разнородных

веществ приводит к созданию нового материала, свойства которого количественно и качественно отличаются от свойств каждого из его составляющих. Варьируя состав матрицы и наполнителя, их соотношение, ориентацию наполнителя, получают широкий спектр материалов с требуемым набором свойств. Технический прогресс, интенсификация движений, повышение нагрузочно-скоростных режимов эксплуатации машин требуют разработки новых, высокоэффективных и в то же время экологически безвредных ПК фрикционного и антифрикционного назначения как материалов с управляемыми и заранее заданными свойствами [1].

**Постановка задачи и обоснование методики исследования.** Целью работы является трибологическое исследование ПК антифрикционного и фрикционного назначения с управляемыми и заранее заданными свойствами на основе алгоритмов оптимального выбора материалов пар трения.

Наиболее распространенным примером применения пары трения полимер-полимер является их использование в качестве материалов для подшипников скольжения (втулки, валики) и мелко модульных зубчатых передач, а также направляющих металлорежущих станков. Конструкторы, использующие ПК для изготовления полимер-полимерных пар трения, иногда затрудняются, какие из выпускаемых полимерных материалов целесообразно применять в каждом конкретном случае, исходя из скоростных и нагрузочных режимов эксплуатации, требований к точности сопряжения, габаритов и конструктивного исполнения проектируемых узлов.

В целях выбора ПК антифрикционного назначения с управляемыми и заранее заданными свойствами для изготовления полимер-полимерных пар трения необходимо на основе алгоритмов оптимального выбора материалов пар трения выявить эксплуатационные характеристики и требования, предъявляемые к ПК антифрикционного назначения, и трибологическими исследованиями оценить их работоспособность.

Разработку новых ПК фрикционного назначения с заданными трибологическими параметрами и управляемыми свойствами рационально проводить двумя методами:

- регулированием протекающих механохимических и структурных изменений, их смещением в область более высоких температур путем ввода в композиционный состав разрабатываемого материала армирующих веществ и специальных наполнителей;
- управлением напряженно-деформированного состояния поверхностного слоя на основании предварительного прогнозирования и оценки энергетической интенсивности изнашивания.



Проведенные нами исследования позволяют также представить схему оптимального выбора ПК антифрикционного назначения при конструировании полимер-полимерных пар трения (рис. 2), в которой обобщены технологические, эксплуатационные, экономические и экологические требования к полимерным материалам.

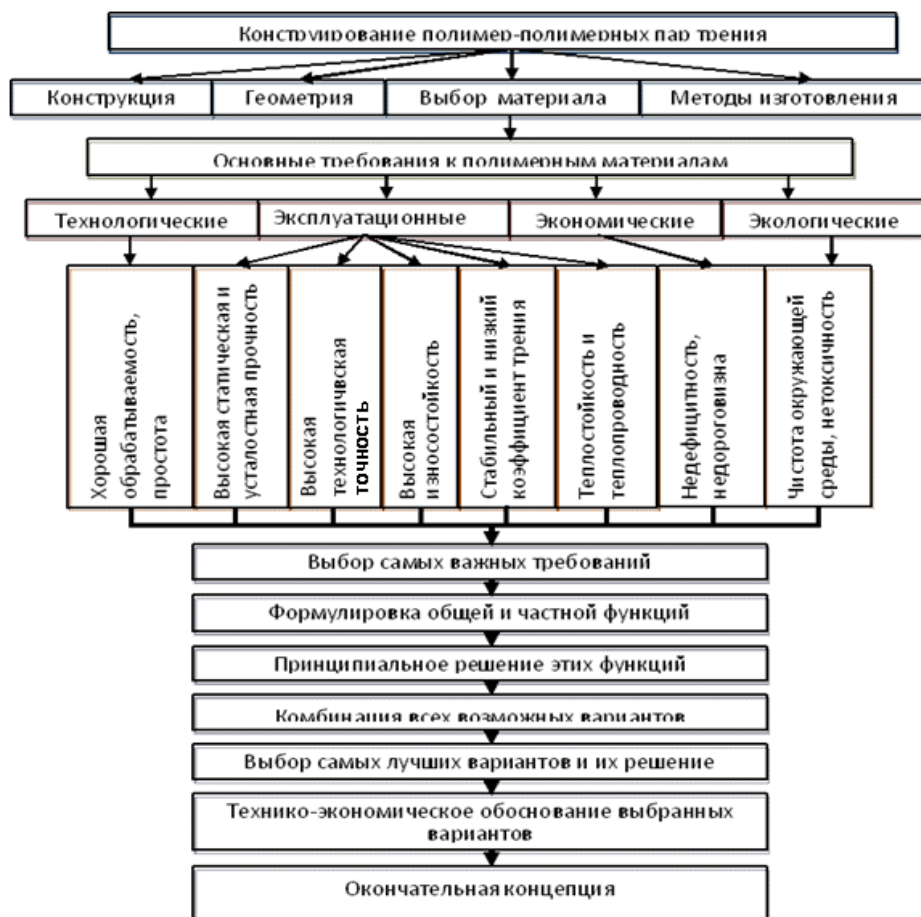


Рис. 2. Алгоритм оптимального выбора полимерных материалов при конструировании полимер-полимерных пар трения

На основе предлагаемого алгоритма были выбраны и исследованы ПК антифрикционного назначения для микроподшипников скольжения и направляющих металлорежущих станков.

Алгоритм оптимального выбора полимерных материалов при конструировании полимер-полимерных пар трения позволяет выявить, что работоспособность микроподшипников в определенной степени зависит от значения диаметрального зазора.

С учетом этапов алгоритма для изучения приработочного процесса микроподшипников и исследования влияния диаметрального зазора на статическое трение и износ в полимер-полимерных микроподшипниках скольжения были выбраны материалы, приведенные в табл. 1.

Таблица 1

*Механические характеристики материалов для микроподшипников скольжения*

| Материал<br>(торговая<br>марка)   | Поверхностная<br>свободная<br>энергия,<br>$\gamma$ , мДж/м <sup>2</sup> | Модуль<br>упругости,<br>$E_p$ , МПа | Микротвер-<br>дость,<br>НВ, МПа | Коэффициент<br>Пуассона,<br>$\nu$ | Напряжение<br>сопротивления<br>сдвигу, $\sigma_s$ ,<br>МПа |
|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------------------------------|
| <b>РА6</b><br>(Тарнамид Т-<br>27) | 46                                                                      | 1600                                | 75                              | 0,35                              | 40                                                         |
| <b>ПК</b><br>(Поликарбонат)       | 40                                                                      | 2400                                | 140                             | 0,43                              | 55                                                         |
| <b>ПОМ</b><br>(Дельрин 500)       | 38                                                                      | 2300                                | 160                             | 0,34                              | 65                                                         |
| <b>АБС</b> пластики               | 45                                                                      | 2500                                | 150                             | 0,38                              | 45                                                         |

Экспериментальные исследования перехода от статического к кинетическому трению были проведены в лабораторных условиях на трибометре. Трибологические свойства материалов оценивались при следующих режимах испытания: статическая нагрузка во время покоя перед началом движения (поворота валика-приложения движущего момента вращения) изменялась в пределах  $F = 8 \dots 30 \text{ Н}$ , скорость скольжения -  $V = 4,3 \dots 101,6 \text{ мм/с}$ , а время предварительного контакта под статической нагрузкой (время стоянки перед пуском) -  $t = 5 \dots 900 \text{ с}$ . Цикл испытаний при исследуемых режимах составлял 10 часов.

Процесс предварительного смещения подшипников сопровождается значительным увеличением коэффициента трения (рис. 3). Скачок коэффициента трения  $\Delta f$  и время предварительного смещения  $t_r$  (от момента начала вращения валика до начала скольжения валика по втулке) можно рассматривать как принципиальные фрикционные характеристики приработочного периода. Между количеством сопряжений и зазором существует квадратическая зависимость (рис. 4). Это - экспериментально обнаруженная зависимость для исследованных подшипников. Зависимость коэффициента трения от зазора - это сложная функция адгезионных и механических свойств контактирующих поверхностей.

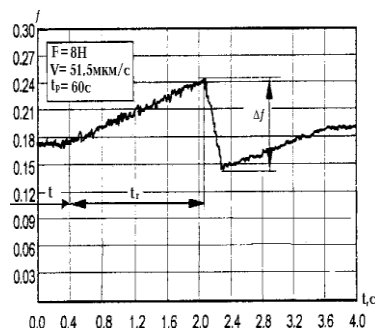


Рис.3. График зависимости коэффициента трения от времени перехода от стационарного контакта к скольжению:  
 $t$  - время предварительного контакта,  
 $t_r$  - время предварительного смещения,  
 $\Delta f$  - скачок коэффициента трения во время пуска

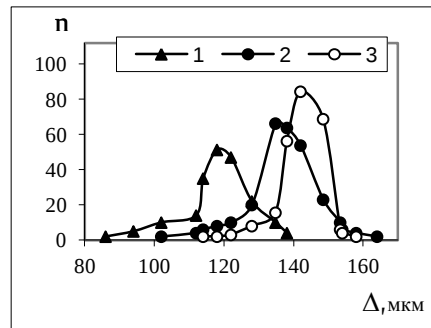


Рис.4. Графики функции распределения количества сопряжений пар трения от диаметрального зазора микроподшипников:  
 1- ПК- ПА-6, 2 - ПОМ- ПА6, 3 - ПОМ- АБС

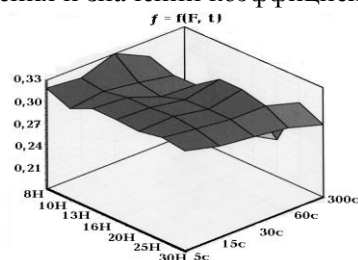
Существуют оптимальные значения зазоров, при которых обеспечиваются минимальные значения коэффициентов трения. Для исследуемых пар трения ПК-ПА6, ПОМ-ПА6, ПОМ-АБС минимальное значение коэффициента трения наблюдается соответственно при зазорах 118, 134 и 142 мкм, что совпадает с максимальным количеством пар трения, имеющих одинаковые размеры сопряжения. Сказанное является важным критерием для функционирования подшипников скольжения. Полученные зависимости коэффициента трения от зазора позволяют определить оптимальные зазоры, обеспечивающие минимальные значения коэффициентов трения.

Известно [1], что существенное влияние на статический коэффициент трения оказывают статическая нагрузка, скорость скольжения и время предварительного контакта. В связи с этим представляет определенный интерес исследование статического коэффициента трения в широком нагрузочном интервале.

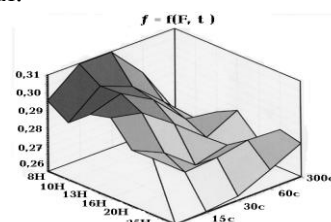
Для пар трения ПК-ПА6 ( $\Delta = 0,086$  мкм) получены двумерные зависимости коэффициента трения: от статической нагрузки и времени предварительного контакта при разных скоростях скольжения; от скорости скольжения и времени предварительного контакта при разных нагрузках, а также от нагрузки и скорости скольжения при разных временах предварительного контакта.

Такие зависимости хорошо суммируют влияние нагрузки и скорости скольжения, а также времени стоянки перед пуском на коэффициент трения пары трения полимер-полимер. Так, повышение скорости скольжения от 4,3 до 101,6 мкм/с при исследуемых нагрузках и временах стоянки перед пуском приводит к существенному повышению коэффициента трения (рис. 5).

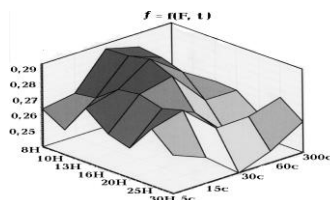
Повышение нагрузки от 8 до 30 Н при исследуемых скоростях скольжения и временах стоянки перед пуском приводит, наоборот, к существенному снижению коэффициента трения, а повышение времени предварительного контакта от 5 до 900 с - к значительному повышению времени предварительного смещения и значений коэффициента трения.



а)



б)



в)

Рис.5. Зависимость коэффициента трения  $f$  от нагрузки и времени предварительного контакта  $t$  при разных скоростях скольжения:

4,3 мкм/с (а), 51,5 мкм/с (б),

101,6 мкм/с (в)

Проведенные исследования дополняют наши представления о влиянии зазора на стартовый процесс полимер-полимерных микроподшипников скольжения, когда происходит переход статического трения на кинетическое. Для исследуемых пар сухого трения найдены оптимальные значения диаметрального зазора, обеспечивающие минимальные значения коэффициента трения и износа сопряженных деталей. Установлено существенное влияние нагрузки и скорости скольжения, а также времени предварительного контакта на трибологические свойства пары трения полимер-полимер.

**ПК фрикционного назначения.** С учетом вышеотмеченных двух факторов, постоянно действующих при высокотемпературном трении фрикционных материалов, нами предложен алгоритм оптимального выбора ПК фрикционного назначения с заданными трибологическими параметрами и управляемыми свойствами (рис. 6).

Этапы анализа эксплуатационных характеристик и выявления заранее заданных параметров предусматривают определение режимов работы тормозного устройства и уточнение нагрузочно-скоростных и температурно-

временных параметров работы пары трения. Синтез температурных зон механохимических и структурных изменений проводится с целью определения основных температурных зон, необходимых для предусмотренной эксплуатации вновь разрабатываемого фрикционного композиционного материала.



Рис. 6. Алгоритм оптимального выбора ПК фрикционного назначения с управляемыми и заранее заданными параметрами и свойствами

Предложенный алгоритм создает предпосылки для научно обоснованного выбора композиционного состава ПК в зависимости от температурных зон эксплуатации и разработки технологических основ создания новых экологически безвредных материалов с заданными трибологическими параметрами и управляемыми свойствами.

Железнодорожный транспорт Армении, из-за отсутствия отечественного производства фрикционных материалов, пользуется, в основном, тормозными колодками производства РФ. Широко применяется продукция Уральского, Барнаульского и Ярославского заводов асбестотехнических изделий. Поэтому разработка фрикционных безасбестовых тормозных колодок железнодорожного транспорта является актуальной задачей.

Режимные параметры работы железнодорожных тормозов в горных условиях приведены в табл. 2. Анализ этих параметров показывает, что тормозные колодки железнодорожных вагонов должны обеспечивать высокие трибологические характеристики в более широком диапазоне поверхностных температур (до 800 °C) при сравнительно низких удельных давлениях и высоких

скоростях скольжения, чем колодки автомобильных тормозов (до 650 °C). Кроме того, фрикционный материал тормозов железнодорожных вагонов должен иметь более стабильный коэффициент трения при температурах выше 700 °C и выдерживать большие мощности трения.

Таблица 2

*Режимные параметры работы железнодорожных тормозов в горных условиях*

| Режимные параметры                                                                                | Величина    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Скорость скольжения, м/с                                                                          | 20...30     |
| Удельная нагрузка, ГПа                                                                            | 4,5...10,5  |
| Удельная работа сил трения, $\times 10^6$ Дж/м <sup>2</sup>                                       | 1,0...2,5   |
| Удельное давление на контакте, МПа                                                                | 0,7...5,0   |
| Удельная мощность трения, $\times 10^6$ Вт/м <sup>2</sup>                                         | 15...40     |
| Температура на поверхности трения при длительном торможении, °C                                   | 800         |
| Максимальная температура на поверхности трения при повторно-кратковременном режиме торможения, °C | 250...350   |
| Коэффициент взаимного перекрытия дисково-колодочных тормозов                                      | 0,10...0,15 |

На основе синтеза температурных зон механохимических и структурных изменений согласно алгоритму оптимального выбора ПК фрикционного назначения, а также учитывая ранее полученные результаты [2], в качестве армирующих веществ апробировалась смесь базальтовых и стеклянных волокон в соотношении 60:40 мас.ч. С применением смеси базальтовых и стеклянных волокон взамен асбестового в качестве армирующего наполнителя стадия механохимических превращений при трении должна протекать при сравнительно высоких температурах.

Для подтверждения этого положительного технического эффекта из композиционного материала сухим способом смешивания компонентов были изготовлены железнодорожные тормозные колодки по требованиям [3].

Сравнительная оценка работоспособности предлагаемого материала проводилась путем стендовых испытаний на инерционном стенде ТС-1 по методике ТМ № 02-001-91 ВНИИЖТ. В качестве аналога выбрана тормозная колодка (ТУ-2571-028-00149386-2000) производства Барнаульского завода АТИ, изготовленная из композиции ТИИР-300. Полный цикл испытаний содержал 13 служебных остановочных торможений при начальных скоростях движения вагона 20...160 км/ч и усилие на колодку 10 кН. Полученные данные сравнивались с результатами испытаний тормозных колодок, изготовленных из чугуновых, металлокерамических и композиционных фрикционных полимерных материалов.

Видно (рис. 7 а), что в условиях высоких скоростей (выше 60 км/ч) тормозные колодки из материала типа бастенит, по сравнению с другими, сохраняют повышенные и стабильные значения коэффициента трения.

Детальный осмотр поверхностей трения тормозных колодок из предлагаемого материала и колес после испытаний показал, что фрикционное взаимодействие колодок с поверхностями катания колес не привело к образованию дефектов, предусмотренных требованиями НБ ЖТ ЦВ-ЦЛ 009-99. Разброс значений коэффициента трения на рис. 7 б соответствует требованиям стандарта РФ НБ ЖТ ЦВ-ЦЛ 009-99.

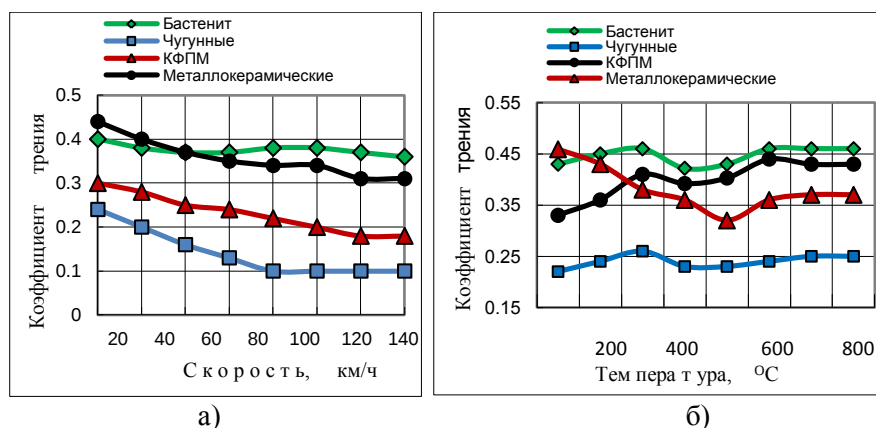


Рис. 7. Графики зависимостей коэффициента трения от скорости передвижения (а) и поверхностной температуры (б)

Таким образом, результаты стендовых испытаний показывают, что значения коэффициента трения предлагаемого материала примерно на 12% выше, чем выбранного аналога. При нагревном режиме трения предлагаемый материал также обеспечивает сравнительно высокие значения коэффициента трения. Сравнительные стендовые испытания показывают, что в условиях высоких скоростей (выше 120 км/ч) тормозные колодки из разработанного материала сохраняют повышенные и стабильные значения коэффициента трения по сравнению с колодками из чугунных, металлокерамических и композиционных полимерных материалов.

Новый фрикционный безасбестовый материал для тормозов железнодорожных вагонов [4] соответствует требованиям международных стандартов и может быть рекомендован для дальнейших дорожных эксплуатационных испытаний в горных условиях.

**Заключение.** Исследования ПК антифрикционного и фрикционного назначения с управляемыми и заранее заданными свойствами на основе алгоритмов оптимального выбора материалов пар трения дают возможность выявить основные факторы, определяющие работоспособность ПК.

ПК фрикционного назначения для тормозов грузовых вагонов железнодорожного транспорта, выбранный на основе алгоритма оптимального выбора материалов пар трения, по своим характеристикам соответствует

требованиям международных стандартов и может быть рекомендован для дальнейших дорожных эксплуатационных испытаний в горных условиях.

*Работа выполнена в рамках научной темы "Создание и исследование деталей машин и фрикционных материалов на полимерной основе с использованием местного сырья и минералов" в базовой проблемной лаборатории по трибологии НПУА за 2016-2017 гг. при финансовой поддержке ГКН МОН РА.*

### Литература

1. **Погосян А.К.** Трение и износ наполненных полимерных материалов. – М.: Наука, 1977. - 138с.
2. Фрикционные композиты на основе полимеров / **А.К. Погосян, П.В. Сысоев, Н.Г. Меликсетян** и др. – Минск: Информтрибо, 1992. - 218 с.
3. **ЖДМ-online Информационная служба журнала "Железные дороги мира"**, Фрикционные материалы для тормозов. - ЖДМ 07-2003.
4. **Պողոսյան Ա.Կ., Մելիքսեթյան Ն.Գ., Մելիքսեթյան Գ.Ն.** Շփական բաղադրանյութ: - ՀՀ Գյուտի արտոնագիր N 2909A // ԱՐԴՅՈՒՆԱԲԵՐԱԿԱՆ ՍԵՓԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ. Պաշտ. Տեղ. N 1. - Երևան, 2015:

*Поступила в редакцию 10.10.2017.*

*Принята к опубликованию 04.06.2018.*

### ՏՐՎԱԾ ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐՈՎ ՊՈԼԻՄԵՐԱՅԻՆ ԿՈՄՊՈԶԻՏՆԵՐԻ ԿԻՐԱՌՈՒՄԸ ՄԵՔԵՆԱՆԵՐԻ ՇՓԱՀԱՆԳՈՒՅՑՆԵՐՈՒՄ

**Ն.Գ. Մելիքսեթյան, Ա.Ն. Կարապետյան, Կ.Վ. Հովհաննիսյան, Վ.Վ. Սարոյան**

Շփագույգերի նյութերի օպտիմալ ընտրության ալգորիթի հիման վրա ներկայացված են հակաշփական և շփական նշանակությամբ, կառավարվող և կանխորոշված հատկություններով պոլիմերային կոմպոզիտների հետազոտման արդյունքները: Հայտնաբերված են սահքի միկրոառանցքակալի տրամագծային բացակի օպտիմալ արժեքները, որոնք ապահովում են շփման գործակցի և հավող մեքենամասերի մաշման նվազագույն արժեքները: Հաստատված է բեռնվածքի, սահքի արագության և նախնական շփման ժամանակի զգալի ազդեցությունը պոլիմեր-պոլիմեր շփագույգի շփագիտական հատկությունների վրա:

Ստենդային համեմատական փորձարկումները ցույց են տվել, որ բարձր արագությունների դեպքում (120 կմ/ժ ավելի) շփման նշանակությամբ պոլիմերային կոմպոզիտից պատրաստված արգելակային կոճղակներն ապահովում են շփման գործակցի բարձր և կայուն արժեքներ՝ համեմատած թուջից, մետաղակերամիկական և կոմպոզիտային պոլիմերային նյութերից պատրաստված կոճղակների հետ:

Առաջարկվող նյութը համապատասխանում է միջազգային ստանդարտների պահանջներին և կարող է երաշխավորվել ճանապարհային հետագա շահագործման փորձարկումների համար լեռնային պայմաններում:

**Առանցքային բառեր.** բացակ, միկրոառանցքակալ, շփման գործակից, մաշում, ալգորիթմ, արգելակ, պոլիմերային կոմպոզիտ:

## **APPLICATION OF POLYMER COMPOSITES WITH PRESET PROPERTIES IN THE FRICTION UNITS OF MACHINES**

**N.G. Meliksetyan, A.N. Karapetyan, K.V. Hovhannisyan, W.V. Saroyan**

The results of investigating antifriction and friction-purpose polymer composites with controlled and preset properties based on the algorithms of the optimal selection of the friction pairs are presented, allowing to reveal the main factors, determining the working capacity of polymer composites. The block diagram of tribological properties of the friction pairs polymer-polymer for designing friction units operating in the mode of self-lubrication is made up.

The investigations carried out completed the existing ideas about the impact of the gap on the starting process of the polymer-polymer slide bearings when the static friction passes into kinetic friction.

The analysis of the mode parameters have shown that the brake blocks of railroad carriages should ensure high tribological characteristics in a wider range of surface temperatures of comparatively low specific pressures and high sliding speeds than the blocks of the automobile brakes.

The optimal values of the sliding micro bearing's diametrical gap are found, ensuring the minimum values of the coefficient of friction and wear of the interfacing parts. A significant influence of the load, the sliding speed and the time of the preliminary contact on the tribological properties of the polymer-polymer friction pair is established.

A polymer friction-purpose composite is proposed for the brakes of cargo vans of the railroad transport. Comparative bench tests have shown that, under the conditions of high speeds (above 120 km / h), the brake pads of the developed friction polymer composite maintain increased and stable values of the friction coefficient as compared to the pads made of cast iron, cermet and composite polymer materials. The proposed material meets the requirements of international standards and can be recommended for further road operating tests in mountain conditions.

**Keywords:** gap, microbearing, friction coefficient, wear, algorithm, brake, polymer composite.