

**Кашицький В.П.,  
Савчук П.П.,  
Садова О.Л.**

Луцький національний технічний університет,  
м. Луцьк, Україна

## **ТРИБОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ ТА СТРУКТУРНІ ПЕРЕТВОРЕННЯ В ПОВЕРХНЕВИХ ШАРАХ ПОЛІМЕРКОМПОЗИТІВ ПРИ НАВАНТАЖЕННІ ТЕРТЯМ**

### **Вступ та постановка проблеми**

Розвиток машинобудівної галузі потребує використання нових триботехнічних матеріалів з високими експлуатаційними та технологічними властивостями, які мають низьку собівартість виготовлення. Застосування полімерів дозволяє значно скоротити витрати дорогих матеріалів та знизити енерговитрати, тому перспективними матеріалами для підшипників ковзання є полімеркомпозити на основі термопластів та термореактивних смол. Порівняно з іншими полімерними матрицями широке застосування в техніці знайшли епоксиполімери, які вирізняються високими адгезійно-міцнісними властивостями, однак обмежено використовуються як основа триботехнічного матеріалу через високі крихкість та коефіцієнт тертя [1]. Вирішення даної проблеми полягає в ґрунтовному аналізі триботехнічних процесів, які відбуваються в поверхневому шарі епоксикомпозитів, що в подальшому дозволяє розробляти ефективні трибоматеріали на основі епоксиполімерів з прогнозованими властивостями.

Метою досліджень є узагальнення результатів фрикційних досліджень відомих полімеркомпозитних матеріалів та оцінка триботехнічних можливостей створених ЕКМ.

Матеріали та методи досліджень. Як матеріал основи використали епоксидно-діанову смолу марки ЕД-20, яку структурували поліетиленполіаміном (ПЕПА). Як модифікатори переважно застосовували кремнійорганічні сполуки [2]. Для наповнення системи застосовано комплекс функціональних добавок з порошків лускатого графіту, фторопласту, оксиду міді, а також подрібнене механічним способом вуглецеве волокно.

Кількісний вміст інгредієнтів розраховували у масових частинах на 100 мас. ч. епоксидної смоли ЕД-20. Вміст вуглецевого волокна використовували в кількості 2,0 мас. ч., ЛГ – 8,0 мас. ч., УФ – 14,0 мас. ч., порошку оксиду міді змінювали в межах – 5,0 - 200 мас. ч.

Дослідження макро- та мікроструктури матеріалу проводили на оптичному мікроскопі МБС-9 при збільшенні (x30) та металографічному мікроскопі МИМ-10 (x100 ... 600). Дослідження топографії поверхонь трибоконтракту та фрактограми зламу досліджували на скануючому електронному мікроскопі SUPERPROBE 733 (фірми JEOL, Японія) при прискорюючій напрузі 25 кВ. Дослідження триботехнічних характеристик проводили на машинах тертя М-22П та СМЦ-2 за схемою “диск-сегмент втулки” в умовах сухого тертя. Шлях тертя становив 2000 м при навантаженні 1 МПа та 1,5 МПа відповідно. Швидкість ковзання змінювали від 0,5 до 4,0 м/с. Аналіз топографії поверхонь трибоконтракту здійснювали на скануючому електронному мікроскопі SUPERPROBE 733 та модульному комплексі Dimic 1000, що являє собою оптичну 3D-систему контролю [2].

Дослідження структури епоксидного композиційного матеріалу проводили, застосовуючи метод пластмасографії, а наповнених графітом композитів – з додатковою плазмохімічною обробкою поверхні шліфів у полі високочастотного газового розряду на установці ВУП-5М. У роботі також використано установки для обробки епоксидних композицій на стадії формування ультразвуком та ультрафіолетовим опроміненням. Термостійкість композитів оцінювали методом диференціально-термічного аналізу на дериватографі Паулік-Паулік-Ердей, а фізико-механічні характеристики визначали за стандартними методиками [3, 4]. Характеристики ЕКМ оцінювали за стандартними методиками, а аналогів за літературними даними.

### **Результати досліджень та їх обговорення**

Зношування високомолекулярних з'єднань залежить, головним чином, від структурної будови полімерної матриці [5, 6] та її фізико-механічних властивостей. Фрикційна взаємодія контактуючих поверхонь є сукупністю механічного й температурного впливів на тверді тіла, що приводить до деформаційних і структурних змін матеріалів в зоні тертя, завдяки яким тонкий поверхневий шар насичується киснем, елементами контактного матеріалу. В ньому відбувається розрив хімічних зв'язків та утворення вільних радикалів, що зумовлює фрагментацію поверхневого шару і появу мікропустот [7, 8].

В роботах [7, 9] показано, що при низьких швидкостях ковзання (< 0,1 м/с) і тиску менше 0,5 МПа механічна робота витрачається на деформацію поверхневих шарів. При швидкості ковзання > 0,1 м/с і незмінному тиску процес зношування в значній мірі визначається інтенсивністю теплових процесів на зонах фрикційного контакту. Тривалість існування, напрямок і швидкість переміщення зон по контактній площині пов'язані з механічними властивостями і опором матеріалів пари тертя зношуванню. Високі щільності теплового впливу можуть сприяти переходу матеріалів в контактних мікрооб'ємах з твердого стану в високоеластичний, рідкий, газоподібний і плазмовий, що підвищує роль локального фізико-механічного руйнування. При досягненні рівності локальної температури і температури деструкції одно-

го з матеріалів можливий перехід до катастрофічного зношування. Температура є головною причиною більшості структурних перетворень на поверхнях тертя, активізує утворення мікротріщин, всі трибохімічні реакції, формування “третього тіла”.

Епоксидно-новолачні олігомери після тверднення при нагріванні до температури 95 – 110 °С знаходяться в склоподібному стані [10, 11], коли в полімері переважають пружні деформації. Якщо в зоні тертя епоксидного композиту розвивається температура, що перевищує температуру склування, на робочій поверхні полімерного тіла формується матеріал, який знаходиться у високоеластичному стані. Такий стан зберігається до моменту термомеханічної деструкції, що настає при 180 ... 230 °С.

Підвищення температури в вузлі тертя призводить як до деструкції зв'язуючого, так і до структурних перетворень полімерної матриці. Автори праці [12] використовують тепловий вплив для підвищення триботехнічних характеристик графітопласту, виготовленого на основі епоксикремній-органічної матриці і графітیزованої тканини. Так, наприклад, з підвищенням швидкості ковзання до 0,4 ... 0,5 м/с, що відповідає росту температури в зоні тертя до 95 ... 100 °С, спостерігається різке зниження коефіцієнта тертя до 0,06 ... 0,11. Отримані характеристики матеріалу пояснюються впливом полімерної матриці і наявністю в його складі спеціальних органічних присадок. При температурі нижчій за 80°С тепловий вплив недостатній для початку дії органічних присадок. З ростом температури в зоні контакту стає можливою адсорбція молекул органічних присадок і їх орієнтація вздовж поверхні тертя.

Вплив механічної складової на характер зношування епоксидного полімеру по сталевому індентору ґрунтовно вивчав П.Н. Богданович [13], який виділяв, в основному, два види зношування: втомний та абразивний; існування абразивного зносу підтверджується наявністю в продуктах зношування частинок витягнутої ниткоподібної форми і утворенням на поверхні зношуваного матеріалу смуг ковзання. Інтенсивність зношування полімеру у більшій мірі визначається частотою появи частинок зношування, отже частотою утворення й швидкістю росту втомних мікротріщин у зношуваному матеріалі.

Обмежити розвиток мікротріщини в композиті здатний наповнювач. Його підсилююча дія пов'язана з переходом полімеру в граничних шарах в зміцнюючий орієнтований стан, який визначає його підвищені механічні властивості. При цьому поверхня наповнювача утворює з матрицею ефективні фізичні та хімічні вузли [14], які зберігаються при температурах склування полімеру. Чим вищий вміст наповнювача, тим більше створюється перешкод для розвитку тріщини. При зростанні вмісту наповнювача зменшення зносу пояснюють формуванням фактичної площі контакту за рахунок частинок наповнювача, зносостійкість яких вища зносостійкості матриці.

Введення до складу епоксидної матриці антифрикційних дисперсних наповнювачів зумовлює підвищення триботехнічних характеристик композиту. В роботі [15] розглянуто особливості трибовзаємодії композиту, наповненого поліетиленом. Під дією температури і великих питомих навантажень пластифікований поліетилен проникає в зону тертя, адсорбуючись на поверхні контртіла, заповнюючи нерівності поверхні і утворюючи резервуари мастильного матеріалу. У цьому випадку тертя відбувається між “третьім тілом” і поверхневим шаром композиту. При підвищенні температури текучість поліетилену збільшується, що приводить до видалення його з зони тертя, зниження зносостійкості матеріалу.

Введення в епоксидну матрицю наповнювачів не антифрикційного призначення [16], які мають вищу теплопровідність і зносостійкість, ніж епоксидний полімер, дозволяє знизити інтенсивність зношування полімерних покриттів і підвищити верхню температурну межу працездатності пари тертя. Автори це пояснюють армувальною дією наповнювачів та підвищенням теплопровідності композиту.

Відомим способом регулювання триботехнічних характеристик епоксикомпозитів є формування прошарків “третього тіла”, розміри, структура, склад та тривалість існування яких визначають коефіцієнт тертя та зносостійкість системи [1, 17]. Їх утворення відбувається в результаті вибіркового переносу при відсутності зовнішнього підведення мастила. Автори робіт [7, 18, 19] формування елементів “третього тіла” в полімерних матеріалах й композитах на їх основі пов'язують з виникненням імпульсів теплової та механічної енергії, під дією яких збільшується сегментна рухливість макромолекул, розриваються зв'язки і утворюються активні центри – реакціоздатні макрорадикали. Останні, взаємодіючи з поверхнею контртіла, наповнювачами й оточуючим середовищем, утворюють нові структури з відмінним від вихідної системи ступенем структурування. У подальшому відбувається поступовий розрив перенапружених і ослаблених тепловим впливом зв'язків та забезпечується тим самим поява й розвиток мікрodefektів, руйнування поверхневого шару. При цьому від основного матеріалу відділяються частинки, які переносяться на поверхню контртіла або видаляються з зони фрикційного контакту.

Інтенсивність формування “третього тіла” визначається трибохімічними процесами, що протікають у зоні фрикційного контакту між поверхнями спряжених тіл [20]. Активним елементом в хімічних реакціях виступає чистий метал, вільний від оксидних плівок, кількість якого в поверхневих шарах і визначає кінетику трибохімічних реакцій. Оксидна плівка гальмує і в кінцевому рахунку перешкоджає формуванню “третього тіла” у вигляді плівки переносу, про що свідчить збільшення коефіцієнта тертя при рості концентрації оксидів на поверхні контртіла. Для підсилення процесів плівкоутворення в зону контакту вводять активні добавки, найефективнішими серед яких є металоорганічні комплекси.

Ефективне формування плівки переносу спостерігали при терті графітопластів, що яскраво висвітлено у роботах авторів [21, 22]. В результаті високої адгезійної здатності графіту до металу в зоні тертя відбувається перенос графіту на сталю поверхню, що суттєво покращує антифрикційні властивості пари тертя. Розширення навантажувально-швидкісного діапазону експлуатації графітопластів можна досягнути шляхом підвищення адгезії графітової плівки переносу до поверхні контртіла.

Успішне вирішення цієї задачі можливо внаслідок модифікування сухих мастил в процесі тертя з метою підвищення вмісту в плівці переносу реакційноздатних груп, які збільшують її адгезійну взаємодію з матеріалом контртіла. Використання ефекту контактного окислення сухих мастил призводить до підвищення зносостійкості графітопластів. Однак, помітне окислення графіту киснем повітря спостерігається при температурі 523-723 К. Тому реалізація цього ефекту при терті графітопластів пов'язана з жорсткими навантажувально-швидкісними режимами, які забезпечують необхідні температури в зоні фрикційного контакту, при яких композиційний матеріал піддається або катастрофічному зносу, або інтенсивній термоокислювальній деструкції зв'язуючого. Для досягнення високого степеня окислення графіту при звичайних експлуатаційних режимах до складу графітопластів вводять каталізатори. Накопичення в плівці переносу продуктів окислення графіту, утворення яких ініціюється азотнокислю міддю, призводить до підвищення зносостійкості й зменшення коефіцієнта тертя епоксифуранових композитів. Окислені продукти здатні взаємодіяти з поверхневими окисидними плівками і атомами металу контртіла шляхом утворення зв'язків різної природи, що сприяє значному підвищенню адгезії утворених плівок переносу.

Зниження коефіцієнта тертя композиційного матеріалу обумовлено зменшенням опору зсуву в плівці переносу через виникнення в ній площин легкого ковзання внаслідок адсорбції газів, парів й низькомолекулярних оксидних з'єднань на поверхні частинок графіту. Плівки переносу, екрануючи взаємодію епоксидного полімеру й металевого контртіла, зменшують адгезійну взаємодію між спряженими поверхнями. Це сприяє зниженню швидкості накопичення дефектів в робочому шарі матеріалу та підвищує його зносостійкість.

Триботехнічні характеристики композитних матеріалів залежать від фізико-хімічних явищ в зоні фрикційної взаємодії полімеру з металом, які пов'язані з конкуруючою дією процесів структурування й деструкції. Тертя при температурі 293 К викликає в епоксидкомпозитному покритті переважно процеси структурування з утворенням нових хімічних зв'язків, що супроводжується структурними й фазовими перетвореннями та переходом всієї поверхні системи у більш вигідний енергетичний стан, в результаті чого утворюються більш термостійкі структури [9, 23].

Тертя при високих температурах (393К) супроводжується домінуванням деструкційних процесів у поверхневому шарі матеріалу, які приводять до збільшення вмісту карбоксильних, гідроксильних і аліфатичних ефірів, зменшенню вмісту епоксидних груп. Руйнування епоксидних полімерів при температурах вище 393 К пов'язано з низькою термодинамічною стабільністю зв'язків між органічними радикалами в макромолекулах [24, 25]. Значно стійкішими до високих температур є матеріали на кремнійорганічній основі [1, 26], які здатні витримувати температури до 400°C. На практиці найчастіше використовують поліорганосилоксани [27, 28] з органічними складовими біля атома кремнію, для яких характерне вдале поєднання термостабільності і хімічної інертності кремнійкисневого скелету з високими фізико-механічними і фізико-хімічними властивостями органічних сполук. Композиції на основі епоксидних смол модифікованих кремнійорганічними олігомерами характеризуються підвищеною ударною в'язкістю та термостійкістю системи [29].

Авторами робіт [30, 31] запропоновані кремнійорганічні полімери для розробки зносостійкого покриття, яке має високу стійкість до механічних циклічних і теплових навантажень. В процесі тертя кремнійорганічні фрагменти, утворені в результаті трибокренінгу, здатні зрощувати мікрорадикали, заповнюючи дефектні зони системою хімічних зв'язків, які виникають за рахунок механокренінгу і подальшого взаємного переміщення макрорадикалів під дією зовнішніх деформуючих сил. Таким чином є можливим утворення зшитої об'ємної структури, значно стійкішої до зовнішніх механічних і термічних впливів при фрикційній взаємодії.

В експериментальній частині даної роботи проведено аналіз впливу варіантів поєднання дрібнодисперсних наповнювачів на інтенсивність вагового зношування в умовах тертя без мастильного матеріалу. В результаті проведеної порівняльної оцінки інтенсивності вагового зношування матеріалу, який містить оптимальну кількість компонентів, з дослідними зразками зафіксовано значне зниження досліджуваної характеристики через відсутність необхідних структурних складових, що виконують функцію твердого мастила (табл. 1).

Особливий вплив на триботехнічні характеристики має лускатий графіт, який виконує екрануючу функцію та знижує коефіцієнт тертя епоксидної матриці, зменшуючи таким чином вплив адгезійної складової. Ультрадисперсний фторопласт виконую дублюючу функцію разом з лускатим графітом і відповідно його присутність в композиті не є обов'язковою. Подрібнене вуглецеве волокно вводиться в систему для підвищення ударної в'язкості системи, оскільки наповнювач є перешкодою для поширення тріщини.

**Триботехнічні характеристики епоксикомпозитного матеріалу,  $S = 2000$  м**

№	Склад матриці	Кількість наповнювача, мас. ч.	Наповнювач	Кількість, мас. ч.	$Ig$ при режимі тертя №1, мг/км	$Ig$ при режимі тертя №2, мг/км
1	ЕД-20	100	лускатий графіт	8,0	0,01	3,33
			ультрадисперсний фторопласт	14,0		
	ПЕПА	12	подрібнене вуглеволокно	2,0		
			CuO	5,0		
2	ЕД-20	100	лускатий графіт	8,0	1,66	2,66
			ультрадисперсний фторопласт	14,0		
	ПЕПА	12	подрібнене вуглеволокно	2,0		
			CuO	200		
3	ЕД-20	100	ультрадисперсний фторопласт	14,0	454,66	–
			подрібнене вуглеволокно	2,0		
	ПЕПА	12	CuO	200		
4	ЕД-20	100	лускатий графіт	8,2	5,33	4,00
			подрібнене вуглеволокно	1,8		
	ПЕПА	12	CuO	200		
5	ЕД-20	100	подрібнене вуглеволокно	1,8	16,66	–
	ПЕПА	12	CuO	200		

*Примітка:* Режим № 1:  $P = 1,4$  МПа,  $v = 2,3$  м/с; режим 2:  $P = 2,0$  МПа,  $v = 3,6$  м/с.

Порошок оксиду міді (CuO) виконує армувальну функцію, а також сприяє кращому відведенню тепла із зони трибоконтракту. В процесі трибовзаємодії відбувається відновлення чистої міді у вигляді захисної плівки, в результаті чого значно знижується інтенсивність зношування.

**Висновки**

Таким чином, негативний вплив механічного та теплового полів при терті двох поверхонь компенсується процесами структурного пристосування матеріалу за рахунок введення в систему добавок, які при підвищенні температури виконують мастильну функцію або ініціюють утворення плівок переносу з низьким опором зсуву, що в загальному покращує триботехнічні характеристики композиту. Показано, що отриманий методом багатofакторного експерименту оптимальний склад полінаповненого епоксикомпозитного матеріалу (зразок № 2) забезпечив найкращі триботехнічні характеристики підшипника ковзання, оскільки функціональна роль кожного з наповнювачів дозволила в повній мірі реалізувати потенціал для створення структури стійкої до зношування при середньому режимі навантаження.

**Перспективи розвитку**

Подальші дослідження в даній області будуть направлені на розробку та вивчення функціональних можливостей триботехнічних матеріалів з елементами самоорганізації структури поверхневого шару при реалізації ефекту вибіркового перенесення.

**Література**

1. Савчук П.П. Наукові і технологічні основи створення та керованого функціонування епоксидних композитів з різним ступенем наповнення: дис... д-ра техн. наук: 05.02.01 – К.: ПІМ, 2010. – 320 с.
2. Савчук П. П. Особливості застосування епоксидних композиційних матеріалів у триботехніці / П.П. Савчук // Проблеми трибології. – 2008. – № 4 (50). – С. 120-125.
3. Савчук П.П. Розробка композиційних антифрикційних матеріалів на основі епоксидних смол, неорганічних наповнювачів для динамічно навантажених вузлів тертя: Автореф. дис... к-та техн. наук: 05.02.01 – Тернопіль: ТДПУ, 1999. – 18 с.
4. Кашицький В.П. Розробка захисних покриттів з підвищеною зносостійкістю на основі епоксидних композитів, модифікованих кремнійорганічним лаком КО-921: Автореф. дис... к-та техн. наук: 05.02.01 – Луцьк: ЛДТУ, 2006. – 20 с.
5. Зайцев А.Л., Сысоев П.В. О фрикционном взаимодействии некоторых полимерных материалов с твердым сплавом // Трение и износ. – 1987. – Т. 8. – № 2. – С. 348-353.

6. Золоторева В.В., Липская В.А., Кочеггин Ю.С. Исследование истирания эпоксидных композиций // Матеріали 25-ї міжнародної науково-практичної конференції. – Київ: УІЦ “Наука. Техніка. Технологія”. – 2005. – С. 312-314.
7. Богданович П.Н., Белов В.Н. Тепловые процессы в зоне контакта трущихся тел // Трение и износ. – 1992. – №4. – Т. 13. – С. 624-632.
8. Мышко В.И., Кочетова Я.В. Исследование износостойкости высоконаполненных медью полимерных композиций // Композиционные полимерные материалы. – 1981. – № 9. – С. 12-18.
9. Белый В.А., Свириденко А.И. Актуальные направления развития исследований в области трения и изнашивания // Трение и износ. – 1987. – Т. 8. – №1. – С. 5-24.
10. Крыжановский В.К. Износостойкие пресс-материалы на основе модифицированных эпоксидно-новолачных олигомеров // Пластические массы. – 1982. – № 5. – С. 15-18.
11. Стухляк П.Д. Эпоксидные композиты для защитных покрытий. – Тернополь: Збруч, 1994. – 177 с.
12. Хотин П.Н., Петренко А.В. Фролова Н.В., Губанова Т.Ф., Александров И.В. Сравнительная оценка работоспособности самосмазывающихся материалов при трении на воздухе // Пластические массы. – 1991. – №10. – С. 25-27.
13. Богданович П.Н. Образование частиц изнашивания при фрикционном нагружении эпоксидного полимера // Трение и износ. – 1988. – Т.9. – № 6. – С. 1000-1006.
14. Аладышкин А.Н., Букин А.С., Крыжановский В.К. Износостойкие композиционные материалы и покрытия на основе эпоксидно-новолачного блоксополимера и продуктов дистилляции каменноугольной смолы // Трение и износ. – 1992. – Т. 13. – №3. – С. 498-500.
15. Клочихин В.И., Стухляк П.Д. Некоторые особенности трения и изнашивания покрытий на основе эпоксидного композита в условиях работы цилиндрического шарнира // Трение и износ. – 1988. – Т. 9. – №5. – С. 897-902.
16. Стухляк П.Д., Коржик В.И., Шкодзинский О.К. Исследование триботехнических характеристик пары эпоксидный композит-плазменное аморфное покрытие // Трение и износ. – 1990. – Т. 11. – №3. – С. 556-559.
17. Богданович П.Н., Прушак В.Я. Трение и износ в машинах. – Минск: Высшая школа, 1999. – 374 с.
18. Свириденко А.И. Роль фрикционного переноса в механизме самосмазывания композиционных материалов // Трение и износ. – 1987. – Т. 8. – №5. – С. 773-778.
19. Савкин В.Г., Смуругов В.А. Адгезия и перенос материала при трении полимеров // Трение и износ. – 1983. – Т. 4. – №1. – С. 34-39.
20. Козаков А.Т., Любимов Д.Н., Никольский А.В., Иванов А.Е., Панасик М.М., Козаченко П.Н. Влияние структуры “третьего тела” на фрикционные характеристики сопряжения эпоксидный композит – металл // Трение и износ. – 1992. – Т. 13. – № 6. – С. 1032-1038.
21. Кононович И.Н., Мироевский М.А., Олешкевич Э.П., Полуянович В.Я. Изнашивание композиционных полимерных материалов в коррозионно-абразивных средах // Трение и износ. – 1987. – Т. 8. – №3. – С. 443-451.
22. Трение, изнашивание и смазка: Справочник. В 2-х кн. / Под ред. И.В. Крагельского и В.В. Алисина. – М.: Машиностроение, 1979. – Кн. 2. – 358 с.
23. Крагельский И.В., Зеленская М.Н. Трибохимические процессы в наполненных покрытиях из высокомолекулярной эпоксидной смолы // Трение и износ. – 1987. – Т. 8. – №6. – С. 965-971.
24. Полимеры в узлах трения машин и приборов: Справочник / А.В. Чичинадзе, А.Л. Левин, М.М. Бородулин, Е.В. Зиновьев / Под ред. А.В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 1988. – 328 с.
25. Коршак В.В., Грибова И.А. О некоторых проблемах создания новых антифрикционных пластмасс // Трение и износ. – 1980. – Т. 11. – №1. – С. 30-44.
26. Середницький Я.А. Сучасна протикорозійна ізоляція в трубопроводному транспорті. – Львів: Фізико-механічний інститут ім. В.Г. Карпенка, 1999. – 239 с.
27. Круглицкий М.Н., Круглицкая В.Я. Структурообразование в органических и кремнийорганических средах. – К.: Наукова думка, 1981. – 316 с.
28. Луговская Е.К., Лисицын В.Н., Вершинина К.И., Жукова А.В. Повышение термостабильности полиорганосилоксанов путем их модифицирования комплексами меди (II) // Пластические массы. – 1983. – № 8. – С. 21-23.
29. Дамаева А.Д., Пономарев В.С., Машутина Г.Г., Кириченко Э.А., Лукина С.П. Новые модификаторы для смолы ЭД-20 // Пластические массы. – 1983. – №3. – С. 56.
30. Точильников Д.Г., Красный В.А., Приемский Н.Д., Гинзбург Б.М., Булатов В.П. Применение полимерных покрытий для повышения износостойкости рабочих поверхностей вкладышей подшипников в условиях недостаточного смазывания // Трение и износ. – 1992. – Т. 13. – №4. – С. 689 -694.
31. Зайченко Л.П., Точильников Д.Г., Росинский Н.А. Исследование свойств тонкослойных смазочных покрытий на основе растворимых фторопластов и полиорганосилоксанов // Трение и износ. – 1988. – Т. 9. – №5. – С. 886-890.