

УДК: 620.179.16

О.М. Люшук, П.П. Савчук, В.П. Кашицький
Луцький національний технічний університет

ВЛАСТИВОСТІ ЕПОКСИКОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ НАПОВНЕНИХ СКЛО– ТА БАЗАЛЬТОВИМ ВОЛОКНОМ

Представлено результати експериментальних досліджень впливу мінеральних волокнистих наповнювачів на механічні та триботехнічні характеристики епоксикомпозитних матеріалів фрикційного призначення. Показано значне підвищення твердості, ударної міцності та зносостійкості епоксикомпозитів наповнених супертонким базальтовим волокном.

Ключові слова: епоксиполімерна матриця, механічні властивості, адгезія, ударна міцність, зносостійкість.

О.М. Люшук, П.П. Савчук, В.П. Кашицкий

СВОЙСТВА ЭПОКСИКОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ НАПОЛНЕННЫХ СТЕКЛО– И БАЗАЛЬТОВЫМ ВОЛОКНОМ

Представлены результаты экспериментальных исследований влияния минеральных волокнистых наполнителей на механические и триботехнические характеристики эпоксикомпозитных материалов фрикционного назначения. Показано значительное повышение твердости, ударной прочности и износостойкости эпоксикомпозитов наполненных супертонким базальтовым волокном.

Ключевые слова: эпоксиполимерная матрица, механические свойства, адгезия, ударная прочность, износостойкость.

O. Lyushuk, P. Savchuk, V. Kashytskyi

THE PROPERTIES OF EPOXY COMPOSITE MATERIALS FILLED BY GLASS– AND BASALT FIBER

The results of experimental studies of the effect of mineral fiber fillers on the mechanical and tribotechnical properties of epoxy composite materials of friction designation has been shown. Has been shown significant increase in hardness, impact strength and wear resistance of epoxy composites, filled by super thin basalt fiber.

Keywords: epoxy polymer matrix, mechanical properties, adhesion, impact strength, wear resistance.

Постановка проблеми. Розробка нових фрикційних матеріалів обумовлена жорсткими умовами експлуатації трибоматеріалів такого типу. Застосування полімерів в якості матриці дозволяє значно скоротити витрати дорогих кольорових металів та знизити енерговитрати. Порівняно з іншими полімерними матрицями широке застосування в техніці знайшли епоксиполімери, які вирізняються високими адгезійно-міцнісними характеристиками.

Актуальною задачею, в процесі розробки нових зносостійких епоксикомпозитів є пошук наповнювачів, які підвищать фізико-механічні та триботехнічні властивості. Матеріали з класичним складом компонентів [1], в залежності від наповнювача діляться на групи на основі азбесту з добавками металів (латунь, мідь, алюміній, свинець) у вигляді стружки, дроту або порошку, на основі міді і мідних сплавів (експлуатація в умовах тертя без мастила і з мастилом) та вуглець-вуглецеві композиційні матеріали (експлуатація в надважких умовах тертя або за високих температур).

Однак дані наповнювачі мають ряд обмежень у використанні [5, 6], через високу собівартість або шкідливість, що змушує виробників шукати нові, екологічно безпечні та недорогі компоненти. Тому доцільним є використання в якості наповнювача мінеральних матеріалів, які характеризуються екологічною безпекою та низькою собівартістю, зокрема базальтового волокна та скловолокна. Дані матеріали є досить міцними та термостійкими, вони мають високу хімічну стійкість, низьку межу міцності при згинанні та невисоку собівартість, оскільки виготовляються з відходів скла (скловолокно) або гірських порід (базальтове волокно).

Волокнисті наповнювачі які інтенсивно використовують в якості наповнювачів для виготовлення полімеркомпозитних матеріалів триботехнічного призначення [7, 8], мають суттєвий недолік, який пов'язаний із зниженням адгезійних властивостей, внаслідок чого підвищується інтенсивність зношування матеріалу за рахунок утворення мікротріщин на поверхні трибоконтакту. Використання волокон з оптимальними морфологічними параметрами та розробка технологічних режимів формування полімеркомпозитів дозволяє підвищити адгезійну міцність та отримати матеріали з високою зносостійкістю в жорстких умовах експлуатації.

Постановка завдань. У даній роботі необхідно було встановити оптимальний вміст наповнювачів та дослідити механічні та триботехнічні характеристики епоксикомпозитних матеріалів.

Матеріали і методи досліджень. Для формування полімеркомпозитних матеріалів наповнених подрібненими волокнами в якості полімерної матриці використано епоксидно-діанову смолу марки ЕД-20 (ГОСТ 10587-84), для тверднення якої використано твердник холодної дії поліетиленполіамін (ПЕПА ТУ6-05-241-202-78). Формування дослідних зразків здійснювали методом вільного заливання. Підготовка композиції полягала у механічному вимішуванні попередньо просушених наповнювачів (100°C) та підігрітої смоли (20-25 °С). Попереднє структурування епоксикомпозитів тривало 24 год за кімнатної температури. Для уникнення високих залишкових напружень застосовано ступінчастий режим термічної обробки епоксикомпозитних матеріалів: 50 °С та 100 °С з витримкою 1 год та до 120 °С з витримкою 4 год.

В якості наповнювачів використано скловолокно (табл. 1) та базальтові волокна двох видів: тонке (ГОСТ 21880-94) та супертонке (ГОСТ 4640-93).

Таблиця 1.

Фізичні характеристики наповнювачів

Характеристика	Скловолокно	Базальтове супертонке волокно	Базальтове тонке волокно
Діаметр волокон, мкм	6 ... 9	1...3	9–15
Максимальна робоча температура, °С	650	982	600
Теплопровідність, Вт/м·К	0,034–0,04	0,035–0,036	0,035–0,036
Щільність, кг/м ³	2540–2600	2500–2800	2500–2800

Твердість вимірювали методом Брінеля на твердомірі марки ТШ-2М з діаметром індентора 10 мм, а ударну міцність визначали на лабораторній установці УТ-1 (ГОСТ-14759-89). Дослідження зносостійкості проводили на лабораторній установці за схемою «вал-сегмент втулки» в умовах тертя без мастильного середовища. Зразок встановлювався на циліндричну поверхню металевого контртіла, яке оберталося із заданою швидкістю. Масу зразків визначали на аналітичних лабораторних вагах типу ВЛА-200 з точністю 0,001 г.

Викладення основного матеріалу. Експериментально встановлено, що твердість епоксикомпозитів наповнених скловолокном зі збільшенням вмісту наповнювача різко зменшується (рис. 1), що пов'язано з природою наповнювача, оскільки волокна мають ліофобну поверхню [2], яка при високому вмісті наповнювача недостатньо змочується полімером. За невисокого вмісту скловолокна в епоксикомпозитах їх твердість є вищою на 40-50 МПа порівняно із епоксикомпозитами наповненими базальтовими волокнами, що зумовлено вищою міцністю скловолокон. Крім того, за високого вмісту наповнювача рівномірно розподілити скловолокно в об'ємі епоксиолімерної матриці є технологічно складно, що призводить до утворення конгломератів в локальних об'ємах, які виступають концентраторами напружень.

Твердість епоксикомпозитів наповнених базальтовим супертонким та тонким волокном зі збільшенням вмісту наповнювача (до 10 мас. ч.) зростає у 2,2 рази, що викликано наявністю активних центрів на поверхні базальтових волокон та здатністю утворювати більшу кількість фізико-хімічних зв'язків з кінцевими групами епоксидного олігомеру. Базальтові волокна є більш дисперсними і рівномірно розподіляються в об'ємі матриці, оскільки дані волокна через низьку міцність частково руйнується під час механічного змішування композиції на етапі формування.

За вищого вмісту наповнювача (8–10 мас. ч) твердість епоксикомпозитів наповнених базальтовим супертонким волокном на 35–39 % вища за твердість епоксикомпозитів наповнених тонким волокном, оскільки даний наповнювач має вищі міцнісні характеристики порівняно з базальтовим тонким волокном.

Встановлено, що ударна міцність епоксикомпозитів наповнених базальтовим волокном та скловолокном зі збільшенням вмісту наповнювача зростає майже однаково (рис. 2). Найвищу

ударну міцність мають епоксикомпозити з вмістом волокнистого наповнювача в діапазоні 7–9 мас. ч.

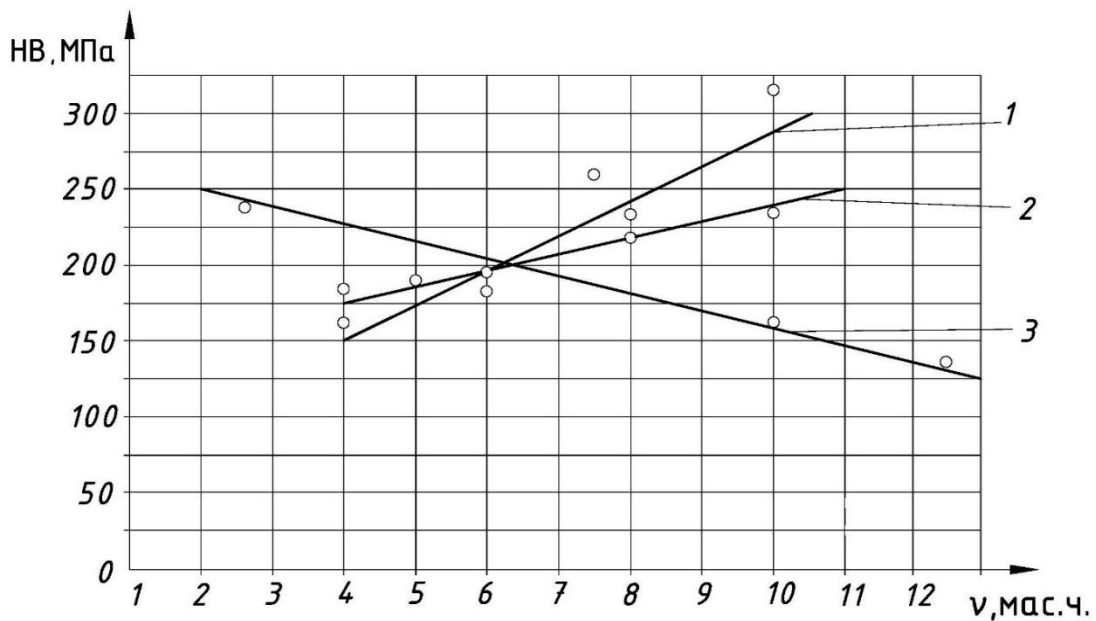


Рис. 1. Залежність твердості епоксикомпозитів від вмісту наповнювача: 1 – базальтове супертонке волокно; 2 – базальтове тонке волокно; 3 – скловолокно

Ударна міцність епоксикомпозитів наповнених скловолокном дещо вища (5–6 %) за ударну міцність епоксикомпозитів наповнених базальтовим супертонким волокном при невисокому вмісті наповнювача (4–8 мас. ч.).

Найнижчі значення ударної міцності зафіксовано для епоксикомпозитів наповнених базальтовим тонким волокном, які на 9–10 % менші за ударну міцність епоксикомпозитів наповнених базальтовим супертонким волокном або скловолокном в діапазоні наповнення 4–10 мас. ч. Це пов'язано з тим, що тонке базальтове волокно під час операції змішування композиції піддається руйнуванню і в результаті отримаємо ультракороткі волокна та дисперсні частинки, які не здатні ефективно чинити опір пош

иренню тріщин у крихкій епоксиолімерній матриці під час динамічного навантаження.

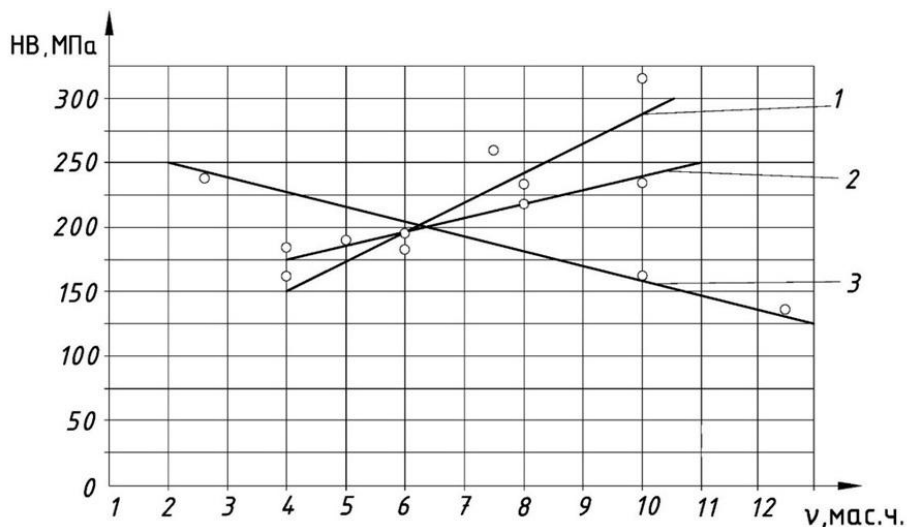


Рис. 2. Залежність ударної міцності епоксикомпозитів від вмісту наповнювача: 1 – скловолокно; 2 – базальтове супертонке волокно; 3 – базальтове тонке волокно

Встановлено, що епоксикомпозити наповнені волокнами з меншим діаметром (скловолокно $d = 6$ мкм, супертонке базальтоне волокно $d = 2$ мкм) мають вищі значення динамічної характеристики, ніж волокна з більшим діаметром (тонке базальтоне волокно $d = 9$ мкм). Це пов'язано із потраплянням більшої кількості тонких волокон в полімерну матрицю порівняно з товстими волокнами за однакового масового вмісту, що призводить до утворення додаткових хімічних зв'язків за рахунок збільшення поверхневої енергії та збільшення включень твердої фази, в результаті чого відбувається підвищення фізико-механічних властивостей даних епоксикомпозитів.

Інтенсивність вагового та лінійного зношування (рис. 3) епоксикомпозитів наповнених скловолокном зростає у 4,1 рази у випадку підвищення вмісту наповнювача, що пов'язано із формуванням структури епоксикомпозитів, що характеризується низькою адгезійною міцністю епоксиолімерної матриці до наповнювача. У випадку підвищеного вмісту наповнювача (10–12 мас.ч.) скловолокна виступають дефектами структури, які знижують міцність системи, що спричиняє інтенсивне руйнування поверхневих шарів в процесі трибозаємодії.

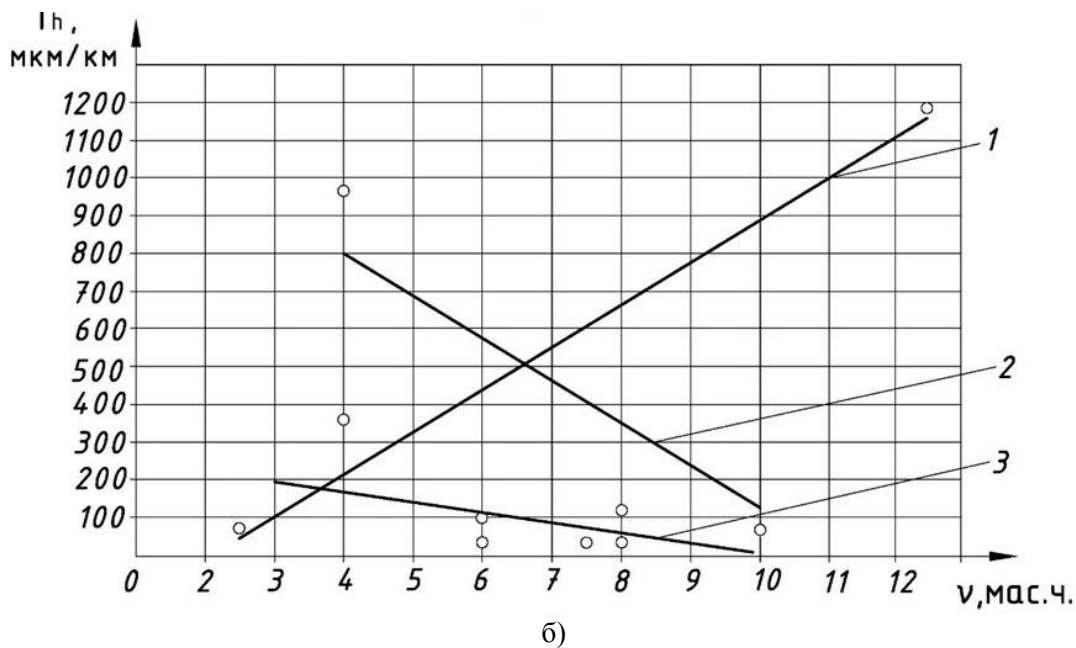
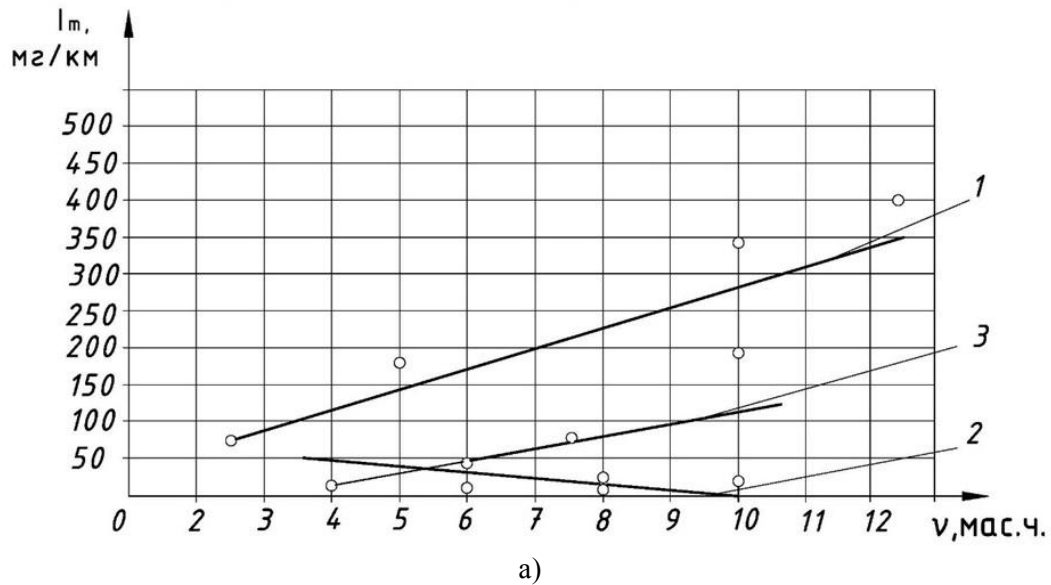


Рис. 3. Вплив вмісту наповнювача на інтенсивність лінійного (а) та вагового (б) зношування: 1 – скловолокно; 2 – тонке базальтоне волокно; 3 – супертонке базальтоне волокно

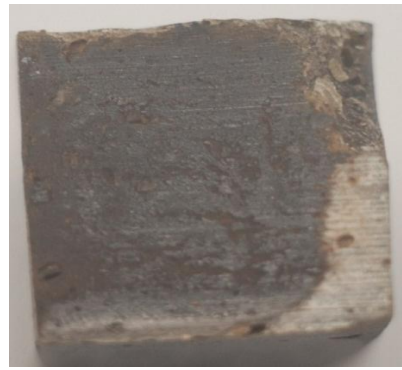
Зносостійкість епоксикомпозитів наповнених базальтовим тонким волокном (рис. 3, а) зростає з підвищенням вмісту наповнювача в досліджуваному інтервалі концентрацій (2–10 мас.ч.), оскільки даний наповнювач рівномірно та компактно розташований в об'ємі полімерної матриці та здатний до утворення фізико-хімічних зв'язків з реакційноздатними групами епоксидної складової. З підвищенням вмісту наповнювача зростає площа контакту мінерального наповнювача з поверхнею сталевого контртіла порівняно з епоксикомпозитами, які містять мінімальну кількість базальтових волокон, відповідно площа контакту наповнювача та контртіла є найнижчою. В даному випадку в більшій мірі відбувається взаємодія між епоксиполімерною матрицею та контртілом, в результаті чого матриця піддається впливу циклічних навантажень та інтенсивно руйнується з утворенням сітки мікротріщин в поверхневому шарі трибоконтакту.

Інтенсивність вагового зношування епоксикомпозитів наповнених супертонким волокном зростає у 5,5–5,8 рази в діапазоні наповнення 2–10 мас.ч., оскільки кількість супертонких волокон є вищою порівняно з тонкими базальтовими волокнами. Відповідно з поверхневого шару в процесі трибовзаємодії відділяється більша маса мінерального наповнювача. Інтенсивність лінійного зношування (рис. 3, б) даних епоксикомпозитів проявляє антибатну залежність порівняно з інтенсивністю вагового зношування, оскільки руйнування поверхневого шару полягає в основному у втраті більш важкої фази (базальтового волокна), тоді як загальне руйнування поверхневого шару епоксикомпозитного матеріалу наповненого базальтовим супертонким волокном є незначним.

Поверхня трибоконтакту епоксикомпозитів наповнених базальтовим супертонким волокном (рис. 4, а) має низьку шорсткість без видимих слідів руйнування поверхні та підтверджує високу зносостійкість епоксикомпозиту, що пояснюється формуванням фактичної площі контакту за рахунок наявності значної кількості частинок наповнювача, зносостійкість якого вища зносостійкості матриці.



а



б



в



г

Рис.4. Поверхня трибоконтакту епоксикомпозитів наповнених: а - базальтовим супертонким волокном (10 мас. ч); б - скловолокном (7,5 мас.ч); в - базальтовим тонким волокном (8 мас.ч); г - скловолокном (12,5 мас.ч.)

На поверхні трибоконтакту епоксикомполімерів наповнених базальтовим тонким волокном (рис. 4, б) присутні ділянки руйнування поверхні невеликої глибини, що виникли за рахунок протікання процесів схоплювання та виривання локальних ділянок. На одному краю зразка видима ділянка сколювання, що вказує на крихкість епоксикомполімерного матеріалу.

При аналізі поверхні трибоконтакту епоксикомполімеру наповненого скловолокном з невисоким вмістом наповнювача (7,5 мас.ч.) (рис. 4, в) не зафіксовано магистральних макротріщин, поверхня тертя є рівномірною, без видимих дефектів та ознак руйнування поверхні, що вказує на високу зносостійкість епоксикомполімеру.

З збільшенням вмісту скловолокна інтенсивність зношування зростає. Це зумовлено неповним змочуванням частинок наповнювача з утворенням пор і порожнин у граничних шарах, що викликає при фрикційній взаємодії катастрофічне руйнування поверхневого шару (рис. 4, г) з накопиченням продуктів зношування біля кромки зразка на виході поверхні з трибоконтакту.

Висновки. В процесі розробки нових фрикційних матеріалів доцільно використовувати в якості наповнювачів базальтові волокна та скловолокна, які вирізняються широкою сировинною базою та забезпечують підвищення фізико-механічних характеристик епоксикомполімерних матеріалів за рахунок підвищення вмісту більш твердої фази та формування додаткових фізико-хімічних зв'язків. Введення до складу епоксиполімерної матриці скловолокна дозволяє підвищити в основному динамічні характеристики матеріалу, тоді як твердість та зносостійкість знижуються через погане змочування наповнювача та низьку адгезійну міцність. Використання базальтового супертонкого волокна є найбільш доцільним в діапазоні 8–10 мас.ч., що сприяє формуванню оптимальної структури епоксикомполімерів з вмістом більш твердої фази, яка забезпечує зростання механічних та трибо технічних характеристик за рахунок утворення додаткових хімічних зв'язків.

В подальших дослідженнях необхідно дослідити комплексний вміст скловолокна та базальтового супертонкого волокна на формування структури епоксикомполімерних матеріалів триботехнічного призначення, що дозволить отримати матеріал з високою зносостійкістю та високим коефіцієнтом тертя.

Список використаних джерел:

1. Гутников С.И., Лазорьяк Б.И., Селезнев А.Н. Стекловолокна, Москва, 2010. – 406 с.
2. Закалов О.В., Закалов І.О. Основи тертя і зношування в машинах. – Тернопіль, 2011.
3. Косторнов А.Г. Триботехническое материаловедение. – Луганск: Видавництво «Ноулідж», 2012. – 696 с.
4. Наполнители для полимерных композиционных материалов: Справочное пособие; Пер. с англ./ Под ред. П.Г. Бабаевского. – М.: Химия, 1981. – 736 с.
5. Богданович П.Н., Прушак В.Я. Трение и износ в машинах: Учеб. для вузов. – М.: Выш. шк., 1999. – 374 с.
6. Кіндрачук М.В., Лабунець В.Ф., Пашечко М.І., Корбуг Є.В. Трибологія: – К: Вид-во Нац. авіац. ун-ту «НАУ-друк», 2009. – 392 с.
7. Барбарина Т.М., Сухов М.П., Шелудяков Н.А. / Стекловолокнистые строительные материалы. – Москва: Издательство литературы по строительству, 1968. – 316 с.
8. Гоголева О.В., Петрова П.Н., Попов С.Н., Охлопкова А.А. Трение и износ: износостойкие композиционные материалы на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена и базальтовых волокон. – Том 36, № 4, 2015. – С. 394-398.

Стаття надійшла до редакції 25.04.2016.