

УДК 629.620

О.І.Буря, О.Д.Деркач

Державний аграрний університет

**ПІДВИЩЕННЯ ТЕХНІЧНОГО РІВНЯ ПАСАЖИРСЬКОГО АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ НОВИХ МАТЕРІАЛІВ**

*Проведені лабораторні та виробничі дослідження щодо можливості застосування вуглепластиків у рухомих з'єднаннях тролейбусів. Доведено доцільність заміни деталей з бронзи та наповнених полімерів на вуглепластикові.*

Ключові слова: *вуглепластик, знос, коефіцієнт тертя, тролейбус, пробіг.*

Вступ. Асортимент деталей із полімерних композитів (ПК), зокрема із вуглепластиків (ВП), постійно розширюється і знаходить все більше застосування в галузях різних напрямків: хімічна промисловість, машинобудівна, космічна [1]. Постійний науковий пошук удосконалення технологій виробництва ПК та деталей з них дозволяє перевести останні з розряду дорогих вузькоспеціалізованих в розряд відносно дешевих конструкційних матеріалів, які характеризуються високими фізико-механічними та триботехнічними характеристиками [2]. Це стало причиною збільшення кількості вузлів та механізмів, в яких стало можливим використання ПК замість традиційних антифрикційних матеріалів (бронза, латунь, алюмінієві сплави). Залежно від призначення та умов експлуатації, в якості складових ПК використовуються термопластичні або терморективні в'язучі і різні волокнисті наповнювачі: азбестові, борні, скловолокна, графітові, вуглецеві і т.ін. Результати досліджень, що проводилися співробітниками лабораторії полімерних композитів Дніпропетровського державного аграрного університету (ЛПК ДДАУ), показують, що на сьогоднішній день одним з кращих наповнювачів для термопластичних і терморективних полімерів, які працюють в умовах сухого тертя ковзання, є вуглецеві волокна. Застосування даних волокон забезпечує значне підвищення зносостійкості (в 30...40 раз) та зменшення коефіцієнта тертя (в 2,5...4 рази) [3]. Розроблені нами ВП спроможні працювати не тільки в слабо- чи середньонавантажених вузлах і агрегатах різного призначення, але можуть з успіхом використовуватись і у відповідальних вузлах тертя, що працюють в жорстких умовах експлуатації. Тому впровадження їх в будь-яку галузь машинобудування має важливе значення, так як дозволяє реалізувати безвідходні екологічно чисті технології і одночасно зекономити великі кошти за рахунок виключення з конструкції вузлів тертя дорожніх кольорових металів.

Аналіз наукових досліджень. Достатньо повно висвітлено застосування ПК в автомобілебудуванні [4], де, зокрема, вказується на те, що в автомобільній промисловості у рухомих з'єднаннях наплавають покриття з поліамідів (ПА) на поверхню ходової частини, деталей двигуна, рульового механізму, коробки передач і заднього моста [5]. Використання ливарних ВП, зокрема, на основі ПА для сепараторів підшипників кочення дозволяє підвищити експлуатаційні характеристики автомобільних підшипників, підвищити їх роботоздатність, зменшити трудомісткість виготовлення, підвищити коефіцієнт використання матеріалу, зекономити чорні та кольорові метали [6]. А високі технічні та сервісні вимоги, які пред'являються сьогодні до автомобільного парку в цілому і до пасажирського транспорту зокрема, повинні задовольнятися не тільки своєчасним проходженням технічних обслуговувань в процесі експлуатації, але також забезпечуватися і конструкцією самої машини, тобто бути максимально придатними до технічного обслуговування. Безперебійна і якісна робота пасажирського транспорту так чи інакше залежить від довговічності і надійності вузлів та агрегатів кожної машини окремо. В рухомих з'єднаннях тролейбусів переднього мосту та приводу гальмівного механізму, де має місце тертя ковзання, використовуються в основному бронзові підшипники ковзання. Іноді інженерні служби депо використовують втулки, виготовлені з чистого поліаміду. Проте сьогодні ці матеріали не можуть в достатній мірі задовольняти існуючим вимогам, так як, по-перше, бронза - матеріал дорогий; по-друге - ресурс експлуатації бронзових втулок обмежений і по-третє - при їх експлуатації потрібне обов'язкове змащування пластичними матеріалами. Що стосується деталей, виготовлених з чистого поліаміду, то, як показала практика, вони вибраковуються через 4200...4500 км пробігу через надто велике зношування.

На основі викладеного матеріалу можна зробити висновок, що пошук альтернативної конструкції або матеріалу з метою подовження терміну служби та здешевлення вартості експлуатації вказаних рухомих з'єднань є актуальною проблемою, вирішення якої потребує додаткових досліджень.

Результати досліджень та їх обговорення. Альтернативним рішенням поставленої проблеми може бути заміна бронзових та поліамідних втулок на вуглепластикові, які мають високі фізико-механічні та триботехнічні характеристики. В подальших дослідженнях бронзу як триботехнічний матеріал виключаємо, бо в умовах тертя без змащення вона не працює.

Лабораторні дослідження триботехнічних характеристик зразків з чистого поліаміду та вуглепластиків УПА-6-30 та УПА-6-40 здійснювали на машині тертя 2070 СМТ-1, призначеній для дослідження триботехнічних характеристик матеріалів за схемою «диск-колодка».

Як видно з рис. 1, із збільшенням тиску  $P$  значення зносу  $I$  та температури  $T$  в зоні тертя у зразка із чистого ПА-6 стабільно збільшується порівняно із вуглепластиковими зразками. При цьому із збільшенням тиску від 0,4 до 1,0 МПа, тобто у 1,5 рази, знос зразка із чистого ПА-6 зріс у 4 рази, в той час як у вуглепластиків на його основі він залишається практично незмінним, температура у чистого ПА-6 зросла у 1,2 рази, а у вуглепластиків знову залишилася практично незмінною. Враховуючи те, що трибологічні властивості двох марок вуглепластиків при даних режимах експлуатації є близькими, було прийнято рішення проводити подальші дослідження на вуглепластику УПА-6-30, так як у ньому міститься на 10 відсотків менше дорогих вуглецевих волокон.

Важливе значення має уявлення про роботу деталей з вуглепластиків у контакті із металевими контртілами різної шорсткості. Справді, в реальності у вузлах, в яких передбачається впровадження вуглепластикових деталей, металеві контртіла мають різну шорсткість поверхні, особливо після розточувань валів під ремонтні розміри.

Аналіз даних, представлених на рис.2, а, показує, що із зростанням шорсткості металевого контртіла  $R_a$  від 0,07 до 2,5 мкм (тобто з 10 по 5 клас шорсткості) коефіцієнт тертя зріс в 2,1 рази.

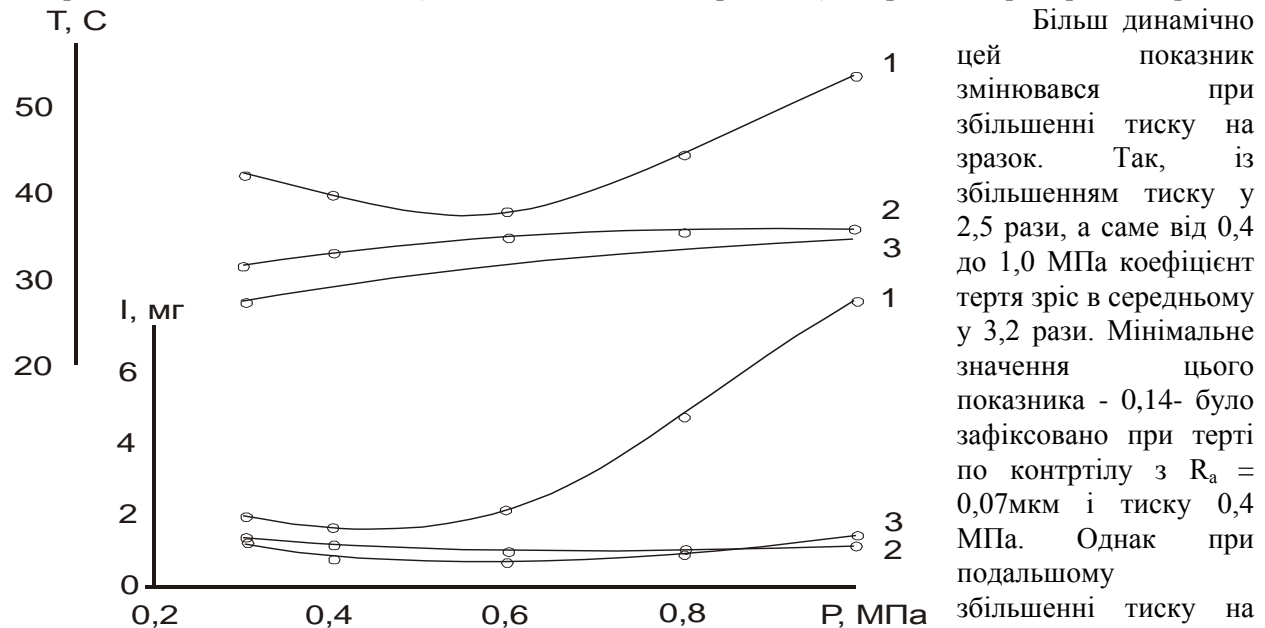


Рис. 1. Вплив тиску ( $P$ ) на температуру в зоні контакту ( $T$ ) і знос ( $I$ ) зразків з поліаміду-6 (1) та вуглепластиків УПА-6-30 (2) і УПА-6-40 (3)

Більш динамічно цей показник змінювався при збільшенні тиску на зразок. Так, із збільшенням тиску у 2,5 рази, а саме від 0,4 до 1,0 МПа коефіцієнт тертя зріс в середньому у 3,2 рази. Мінімальне значення цього показника - 0,14- було зафіксовано при терті по контртілу з  $R_a = 0,07\text{мкм}$  і тиску 0,4 МПа. Однак при подальшому збільшенні тиску на даному контртілі він перевищив значення коефіцієнта тертя порівняно з контртілом з  $R_a = 0,25\text{мкм}$ . Далі у

всіх випадках найменший коефіцієнт тертя спостерігався при терті по контртілу  $R_a = 0,25\text{мкм}$ . Максимальне значення - 0,7 зафіксовано при терті контртіла  $R_a = 1,2\text{ мкм}$  і тиску  $P=1\text{ МПа}$ .

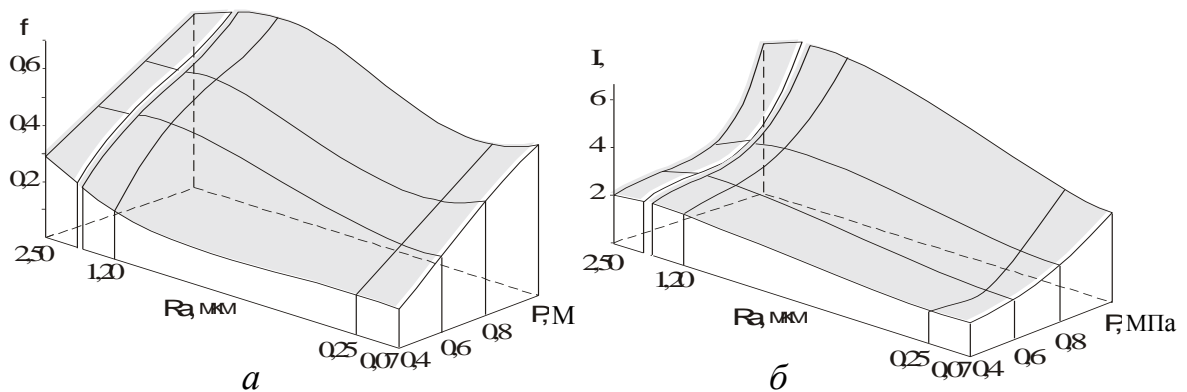


Рис.2. Вплив шорсткості поверхні контртіла  $R_a$  і тиску  $P$  на коефіцієнт тертя  $f$  (а) і знос  $I$  (б)

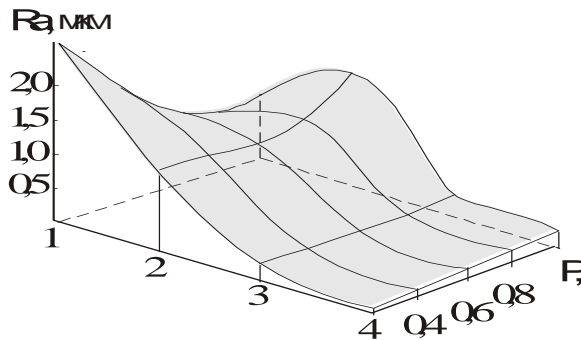


Рис.3. Залежність зміни шорсткості поверхні контртіла  $R_a$  від тиску  $P$ : контртіла з початковою шорсткістю 1-  $R_a=2,5$  мкм; 2 - 1,2 мкм; 3 - 0,25 мкм; 4 - 0,07 мкм

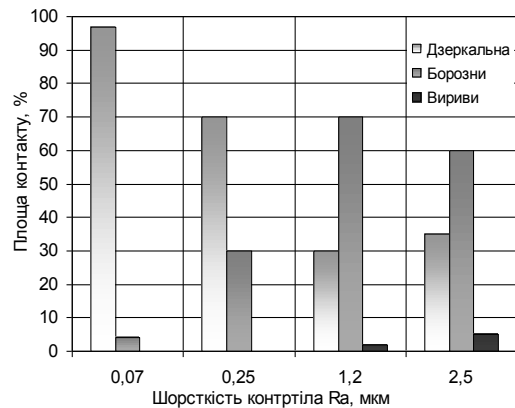


Рис.4. Розподіл поверхні тертя зразків вуглепластика за характерними зонами

Дослідження зносостійкості ( $I$ ) зразків (рис.2, б) показало, що із зростанням шорсткості з 10 по 5 клас (при  $P = 0,4$  МПа) знос зразків збільшився лише в 1,6 рази. При цьому мінімальні значення зносу ( $I$ ) спостерігались для контртіла з  $R_a = 0,25$ , а максимальні з  $R_a = 1,2$  мкм. Знос всіх зразків також зростає (в 1,4 - 2 рази) при прикладанні тиску  $P = 1$  МПа. Як показав огляд поверхні контртіла, така поведінка вуглепластика пояснюється присутністю на поверхні ділянок підплавленого матеріалу, що пояснюється наявністю адгезійних сил, які приводять до зростання як коефіцієнта тертя, так і зносу.

Аналіз рис.3 показує, що у всіх випадках, крім контртіла 4 ( $R_a = 0,07$  мкм), шорсткість із зростанням тиску  $P$  до 0,6 МПа знижується, тобто спостерігається ефект шліфування сталі вуглепластиком. Але при подальшому зростанні тиску шорсткість контртіла  $R_a$  збільшується. Причина збільшення шорсткості контртіла з більшою початковою шорсткістю (контртіла 1 і 2) викликана розвитком задирів і каналів (борозен) при жорстких режимах тертя (0,8 і 1 МПа×м/с).

Аналізуючи структуру характерних зон поверхні тертя зразків (рис.4), бачимо, що із зростанням шорсткості контртіла дзеркальна доля поверхні зони контакту зменшується. Так, при зростанні шорсткості в 17 разів (тобто з  $R_a 0,07$  до  $R_a 1,2$  мкм) площа дзеркальної поверхні знизилась більш як втричі (з 97 до 30%). При використанні контртіла з  $R_a 2,5$  мкм площа дзеркальної поверхні склала 35% від загальної площі контакту. В аналогічних умовах площа

контакту з борознами зростає в 14 разів. Однак при  $R_a$  2,5 мкм цей показник зменшився на 10%. При застосуванні контртілі з  $R_a$  1,2 і 2,5 мкм спостерігається також поява невеликих площ з задирами та глибокими виривами.

З метою підвищення екологічності технології і раціонального використання сировини для виготовлення деталей з ВП доцільно після вибракування деталі повертати на повторну переробку. Дослідження впливу рециклінгу на властивості ВП (табл. 1) показали, що основні параметри (коефіцієнт тертя, ударна вязкість) суттєво не змінюються. Отже, маємо можливість направляти на повторну переробку вибракувані деталі.

Таблиця 1

Вплив рециклінгу на властивості вуглепластика

Параметр	Цикл переробки		
	Первинна	Повторна	Втретє
Теплостійкість за Віка, К	497	481	454
Коефіцієнт тертя при $PV = 0,4$ МПа·м/с	0,17	0,14	0,13
Температура в зоні контакту, К	333	328	327
Максимальне значення фактора $PV$ , МПа·м/с	1,0	0,6	0,8
Ударна вязкість, $кДж/м^2$	41	44	35

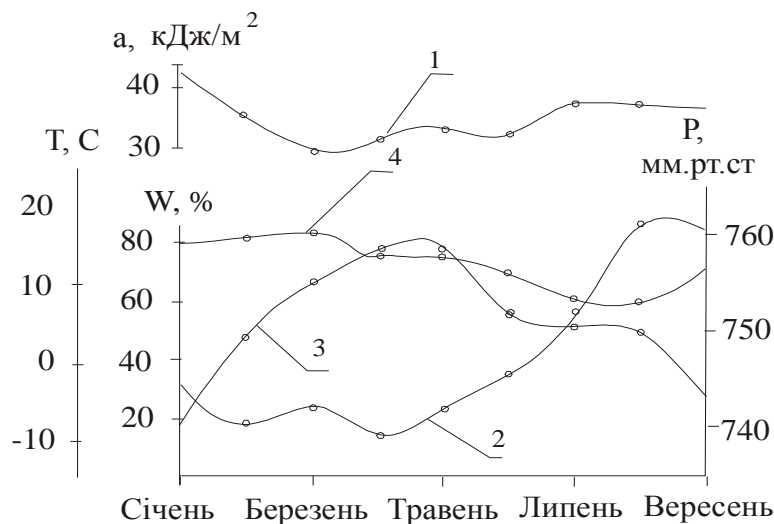


Рис. 5. Вплив кліматичних факторів на ударну в'язкість вуглепластика:

- 1 – ударна в'язкість; 2 - середньодобова температура; 3 – атмосферний тиск; 4 – відносна вологість

Протягом року пасажирський транспорт працює за різних кліматичних умов. Тому нами був поставлений експеримент, в процесі якого зразки протягом періоду зберігання с.-г. техніки і наступного вегетаційного періоду рослин піддавались дії кліматичних умов. Згідно з ГОСТ 17170-71 зразки були розміщені на відкритому стенді. Так як при роботі вказаних деталей тролейбусів найбільш впливовим фактором є ударні навантаження, було прийнято рішення визначити вплив кліматичних факторів на ударну в'язкість, у зв'язку з чим були виготовлені відповідні зразки. Аналізуючи одержані залежності, бачимо (рис.5), що ударна в'язкість змінюється несуттєво. Однак з графіка видно, що зі збільшенням відносної вологості повітря ударна в'язкість дещо зменшується і навпаки. Волога, яка поглинається поліамідом 6, знижує температуру склування, за рахунок чого переводить полімер із скловидного у високоеластичний стан і викликає протікання кристалізаційних процесів, що і пояснює функцію вологи. [7]. Тобто волога пластифікує поліамідну матрицю вуглепластика. Однак, як сказано в [8] і підтверджується нашими дослідженнями, викликані поглинанням вологи зміни фізико-механічних властивостей в значній мірі є

оборотними, хоча повного відновлення властивостей і не відбувається. Так, уважно спостерігаючи за кривими ударної в'язкості 1 і відносної вологості повітря 4, можна побачити, що із підвищенням вологості  $W$  повітря ударна в'язкість  $a$  знижується. У випадку, коли  $W$  спадає, значення  $a$  зростає, але у будь-якому випадку вона не перевищувала початкове значення, рівне  $41,5 \text{ кДж/м}^2$ . У процесі досліджень не встановлено закономірності між температурою повітря  $T$  та ударною в'язкістю  $a$ , так як температурний інтервал у процесі дослідження коливався незначно (від  $-17$  до  $+28^\circ\text{C}$ ) порівняно з температурними режимами експлуатації даного вуглепластика. Наприклад, теплостійкість за Віка для вуглепластика, що розглядається, складає 497К.

Виробничі випробування. Аналіз роботи вузлів тертя ковзання та рухомих з'єднань тролейбусів марок ЮМЗ Т2 (рис.6), що випускаються на Південному машинобудівному заводі, ЗиУ-9 (завод імені Уріцкого, Росія), Шкода 14 Тр (Чехія), показав, що з метою зниження металоемності та зменшення вартості вузла та його технічного обслуговування (ТО) вузлами, в яких є сенс замінити бронзові втулки на вуглепластикові, є шворні переднього мосту та вали розтискних кулаків гальмівних колодок.

В тролейбусі ЮМЗ Т2 на двох шворнях переднього мосту встановлено 4 втулки з бронзи марки БРАЖ9-4Л загальною масою близько 1,5 кг. Виготовлена втулка з ВП має масу 0,096 кг. втулок шворня складає 32 тис. км пробігу. Втулки вала розтискного кулака гальмівних колодок були оглянуті і замінені через 2 роки експлуатації (пробіг тролейбусів складає від 40 до 45 тис. км) під час проходження чергового ТО. Під час проведення досліджень тролейбусне депо № 1 м. Дніпропетровськ було повністю переведене на використання вказаних деталей з ВП. Економія бронзи у розрахунку на 100 тролейбусів склала не менше 300 кг. При впровадженні експериментальних деталей система ТО не потребує корегування. Проте виробничими дослідженнями встановлено, що втулки шворня можна змащувати, збільшивши періодичність у два рази порівняно із серійними деталями.

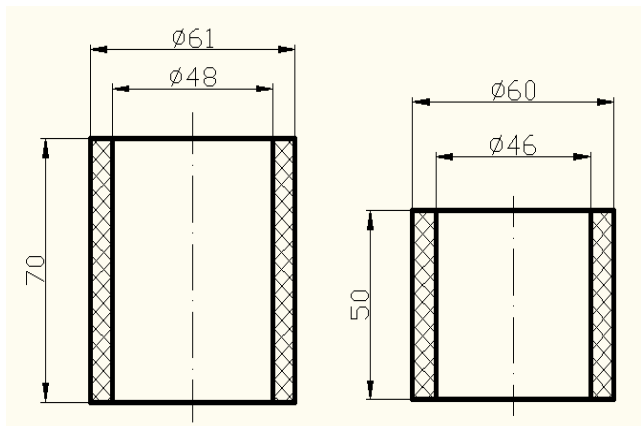
#### Висновки

В результаті проведених досліджень встановлено наступне:

- підвищення технічного рівня автомобільного пасажирського транспорту доцільно проводити з використанням нових сучасних матеріалів, зокрема вуглепластиків;
- знос деталей з вуглепластиків в умовах тертя без змащення манший у 4 рази порівняно із чистим поліамідом;
- при контакті деталей з вуглепластиків зі сталевими контртілами їх шорсткість може бути в межах  $0,07...2,5 \text{ мкм}$ . При зростанні шорсткості вала з 10 по 5 клас знос втулок зростає в 1,6 - 2 рази;
- дослідження впливу рециклінгу на властивості вуглепластиків показали, що основні параметри (коефіцієнт тертя, ударна в'язкість) суттєво не змінюються;
- кліматичні фактори не впливають на ударну в'язкість деталей із вуглепластиків, що дає можливість експлуатувати протягом всього року та зберігати їх на відкритих ділянках;
- пробіг тролейбусів з експериментальними втулками шворня переднього моста склав 32 тис. км, втулок вала розтискного кулака гальмівних колодок – до 45 тис. км.



а



б

в

Рис.6. Загальний вигляд тролейбуса ЮМЗ Т-2 а) і деякі експериментальні деталі для українських б) і російських тролейбусів в)

1. Молчанов Б.И., Чукаловский П.А., Варшавский В.Я. Углепластики: Монография. – М.: Химия, 1985. – 207с.
2. Буря А.И. Углепластики на основе полиамидов, технический уровень и тенденции развития // Пластмассы. – 2000.- №4. – С. 46–47.
3. Деркач О.Д. Обґрунтування параметрів обертових елементів робочих органів зернозбиральних комбайнів: Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.05.11 / Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя. – Тернопіль, 2006. – 20с.
4. Буря А.И., Чигвинцева О.П., Аносов Н.И., Басистый В.И. Применение полимерных материалов в автомобилестроении: Монография. - Днепропетровск: Навчальна книга, 2001 - 128с.
5. Вадас Емил. Ремонт и изготовление деталей машин наплавлением полиамида // Пластмассы. - 1983. - №7. - С.50-51.
6. Глан. И.Г., Мазаева И.С. Техничко-економическая эффективность применения литьевых полимерных материалов для сепараторов подшипников // Тр. Всес. Н.-и. Конструкт.-технолог. Инт подшип. промышленности. -1982. - №4/114. - С.76-82.
7. Саморядов А.В., Архипов Г.В., Храменко Н.Е. и др. Влияние влаги на старение стеклонаполненного полиамида 6 // VIII конференция по старению и стабилизации полимеров: Тезисы докладов. (10-13 октября 1989 г.). – Душанбе- Черноголовка, 1989. –С. 132 – 133.
8. Павлов Н.Н. Старение пластмасс в естественных и искусственных условиях: Монография. – М.: Химия, 1982. – 220с.