



UPOTREBA POLIMERA KOJI SADRŽE METAL U AUTOMOBILSKOJ INDUSTRIJI

Aleksandr I. Burya

Dniprovsk State Technical University, Ukraine

Ukrainian Technological Academy, Ukraine

Yekaterina A. Yeriomina

Dniprovsk State Technical University, Ukraine

Igor I. Polovnikov

Ukrainian Technological Academy, Ukraine

Aleksandr F. Morozov

Ukrainian Technological Academy, Ukraine

National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute named after Igor Sikorsky",
Ukraine

Sažetak: Moderna izrada mašina zahteva proširenje opsega materijala otpornog na habanje koje poseduje dobre eksploatacione karakteristike. U skladu sa ovim, dobijanje novih polimernih kompozitnih materijala je od velikog značaja. Takvi materijali su razvijeni na bazi termo-otpornog poliamida C-1 uvođenjem praškastog karbonil nikla. Jedinjenja su pripremljena mešanjem komponenti unutar rotirajućeg magnetnog polja. prema dobijenim podacima, karakteristike ovog sistema su definisane po stepenu udela. Na ovaj način snaga udara dostiže svoj maksimum pri sadržaju nikla od 15% udela mase. Što se tiče tvrdoće, čvrstoća na pritisak i termofizičke karakteristike polimera koji sadrže metal, rastu sa povećanjem sadržaja nikla, što omogućuje dobra adhezija između punila i veziva. Najmanji stepen habanja u uslovima suvog trenja je kod kompozitnog materijala koji sadrži 15% udela karbonil nikla. Ovaj sastav kompozita je više od jedanaest puta otporniji na habanje u odnosu na čisti poliamid C-1. Sa ovim na umu, umesto bronz, razvijeni metalopolimeri su korišćeni za čaure za obrtno sklopove i sisteme kočnica za ZIU, UMZ i Skoda trolejbus. Kompozit je pokazao dobre performanse i pouzdanost prilikom korišćenja. Zbog predloženih dimenzija čaura, čitav opseg popravke može biti rešen i kupovina novih čaura se može značajno smanjiti. Stoga, dobijenom pouzdanosću i radne efikasnosti pomenutih čaura, menjanje serija delova čvorova koji trpe trenja trolejbusa napravljenih od obojenih metala sa polimerom koji sadrži metal postaje isplativo.

Ključne riječi: polimeri koji čine metal, termo otporni poliamidi, S-1, karbonil nikla, trolejbusi, obojeni metali.

THE USE OF METAL-CONTAINING POLYMERS IN THE AUTOMOTIVE INDUSTRY

Abstract. Modern machine building requires expanding the range of wear-resistant materials possessing strong exploitation characteristics. In this respect, obtaining new polymer composite materials is of great interest. Such materials have been developed based on thermo resistant polyamide S-1 by means of introducing powder-like carbonyl nickel. The compositions were prepared by means of mixing the components within the rotating electromagnetic field. According to the obtained data, the characteristics of this system are defined by the filling degree. In this way the impact strength reaches its maximum at nickel content of 15 mass %. As for the hardness, compression strength and thermo physical properties of metal-containing polymers, they all grow with the increase of Ni content, which is provided for by good adhesion between the filler and the binder. The smallest wear in the conditions of dry friction is that of the composition material containing 15 mass % of carbonyl nickel. This system is more than eleven times as wear-resistant as pure S-1. With this regard, developed metal-polymers have been designed from metal-containing polymers for pivot knots and brake systems of ZIU, UMZ, Skoda trolleybuses instead of bronze. These have shown good performance and reliability at exploitation. Due to the proposed bushings dimensions, the entire range



of sleeves repair can be solved and purchases of new ones can be reduced. Thus, given the reliability and work efficacy of the mentioned bushings, replacing the series parts of trolleybus friction knots made of alloys based on non-ferrous metals with the metal-containing polymers ones becomes profitable.

Keywords: polymers comprising a metal, thermal resistant polyamide, S-1, carbonyl nickel, trolley buses, ferrous metals.

1. Введение

По данным Костецкого [1], только 10 – 15 % деталей машин и механизмов выходят из строя из-за недостаточной прочности, остальные – из-за износа. В работе [2] также отмечается, что 30% всех аварий совершается из-за износа, в том числе аварии из-за абразивного износа составляют 30%, из-за адгезионного – 15, усталостного – 15, термической усталости – 12, контактной коррозии – 10, коррозии – 10, из-за кавитации – 8%. Становится очевидным, что повышение износостойкости трущихся поверхностей – важная научная и производственная задача. Сегодня она занимает ведущее место при решении проблемы увеличения надежности и долговечности современной техники [3, 4]. В связи с этим, научный интерес представляло изучение влияния режимов эксплуатации на триботехнические характеристики металлополимеров.

2. Объекты и методы исследований

Исследовались металлополимеры на основе ароматического полиамида фенилон С-1 (ТУ 6-05-221-101-71) – один из перспективных термостойких полимеров, который работоспособен до температуры 533 К и уступает по прочности только лучшим маркам армированных пластиков.

В качестве наполнителей для металлополимеров использовали мелкодисперсные порошки карбонильного никеля (ПНК-2К10, ГОСТ 9722-97), меди (ПМС-1, ГОСТ 4960-2009), алюминия (ПА-1, ГОСТ 6058-73), титана (ПТК-1(2), ТУ 14-22-57-92) и бронзы (БрО5Ц5С5, ГОСТ 613-79). Степень наполнения составляла 5 – 20 мас. %. Основные свойства пресс-порошков приведены в табл.1.

Физико-механические свойства определяли согласно с ГОСТами для пластмасс, а трибологические характеристики на дисковой машине трения по методике описанной в [5].

Таблица 1. Основные свойства пресспорошков

Символ	Цвет пресс-порошка	Плотность, кг/м ³	Насыпная плотность, кг/м ³	Температура плавления, К	Размер частиц, мкм
С-1	розовый	1350	200 – 300	543*	35 – 50
Ni	серый	8900	1200 и больше	1726	12 – 21
Cu	красный	8960	1250 – 2000	1356	33 – 57
Al	серебристо-белый	2699	960	934	129 – 172
Ti	серебристо-белый	4505	2850	1933	158 – 284
Бр	золотистый	8800	3700 – 4700	1203 – 1373	43 – 90

*Температура размягчения по Вика



3. Результаты и их обсуждение

В ходе исследований физико-механических свойств разработанных металлополимеров обнаружено, что вокруг металлических частиц образуется более плотная структура, о чем свидетельствует сравнение плотностей рассчитанной за законом аддитивности и полученной экспериментально гидростатическим методом. Данная структура ведет к повышению свойств металлополимеров по сравнению с ненаполненным полимером (см. табл. 2).

Таблица 2. Свойства металлополимеров, содержащих 15 масс.% наполнителя

Свойства	C-1	Al	Br	Cu	Ti	Ni
Экспериментальная плотность, кг/м ³	1350,0	1476,0	1549,0	1570,3	1518,2	1550,9
Расчетная плотность, кг/м ³	1350,0	1459,4	1546,4	1546,9	1509,1	1546,8
Твердость, МПа	180	221	230	227	260	241
Предел текучести при сжатии, МПа	228,8	251,3	261,7	267	269	259,5
Предел пропорциональности при сжатии, МПа	152,6	187,5	200,8	210,0	203,0	212,8
Модуль упругости при сжатии, ГПа	2,75	3,31	3,06	2,99	3,35	3,10
Ударная вязкость, кДж/м ²	30,8	34,8	14,1	13,2	35,6	42,0

Появление металлических наполнителей в полимерной матрице приводит к повышению твердости на 23 – 45 %, пределов текучести и пропорциональности на 11 – 18 и 23 – 39 %, модуля Юнга на 11 – 25 %. Введение Al, Ti, Ni повышает ударную вязкость композиций, что обусловлено лучшей диссипацией энергии удара за счет увеличения степени кристалличности и плотности полимерной матрицы.

Тибологические исследования металлополимеров (рис. 1) свидетельствуют об уменьшении интенсивности износа с увеличением содержания наполнителя. При этом, интенсивность износа достигает своего минимума при содержании 15 мас.%, что объясняется большей прочностью композиций.

В ходе исследований установлено, что в процессе трения под воздействием механических и тепловых нагрузок происходят изменения в зоне контакта (см. рис. 2). Если для поверхности образца фенилона, не подвергавшегося испытанию на износ, характерна глобулярная структура, то после испытаний отчетливо проявляются цепочечные структуры и зоны, деформированные по направлению трения, которые можно рассматривать как микроочаги схватывания. Их образование обусловлено дискретностью касания контактирующих микровыступов, что приводит к их механическому разрушению под воздействием тангенциальной силы, с обнажением нижележащих слоев.

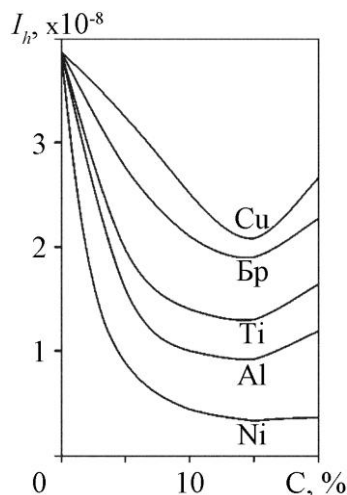


Рис. 1. Зависимость интенсивности износа от содержания наполнителя

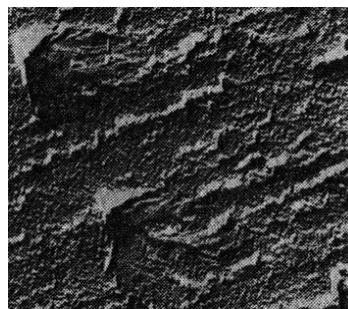
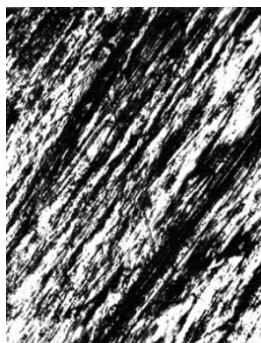


Рис. 2. Поверхность фенилона после трения ($P = 0,6$ МПа, $v = 0,3$ м/с).
Увеличение $\times 12\,000$

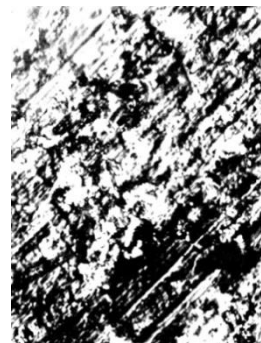
Появление дисперсных порошков металлов в полиамидной матрице упрочняет композиционный материал и тормозит развитие деформационных процессов в матрице при истирании, что повышает износостойкость металлополимеров. С другой стороны, увеличение содержания металлического наполнителя снижает температуру на границе раздела композит – контртело, за счет увеличения коэффициента теплопроводности, что тормозит развитие деструктивных процессов и, как следствие, ведет к повышению износостойкости систем. Как следствие, поверхности трения металлополимеров (см. рис. 3) имеют борозчатую структуру, образующуюся в результате пропахивания. На поверхностях трения не наблюдаются микротрещины, что свидетельствует о пластичном разрушении композиций. Также на поверхностях трения видны следы схватывания в виде областей материала, смещенных по направлению трения, но они встречаются гораздо реже, чем у фенилона, причем, чем выше степень наполнения, тем меньше их становится [6].



а



б



в

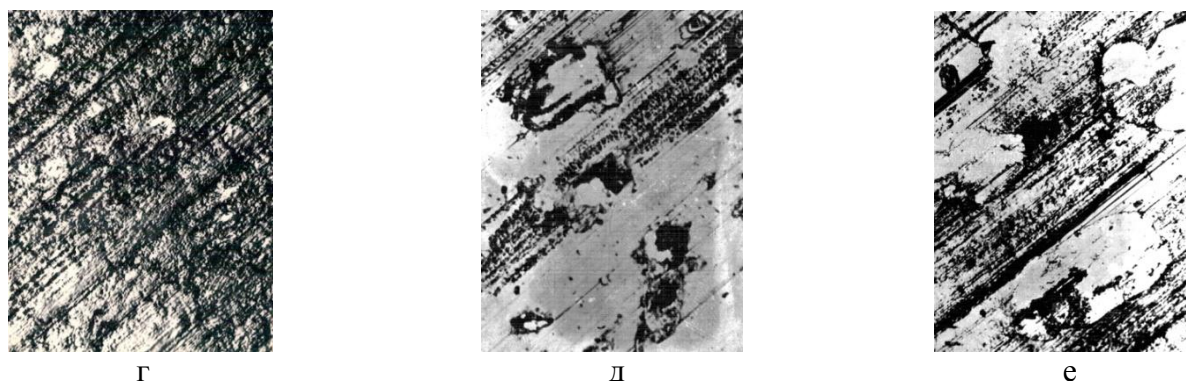


Рис. 3. Поверхности трения фенилона (а) и металлополимеров на его основе, содержащих 15 масс. %: Ni (б), Br (в), Cu (г), Al (д), Ti (е)

Учитывая, что оптимальным комплексом трибологических свойств (минимальным коэффициентом трения и износом) обладают металлополимеры, содержащие 15 мас. % металлического наполнителя, дальнейшие исследования трибологических свойств материалов проводились для металлополимеров с оптимальным содержанием (табл. 3).

Из табл. 3 видно, что введение в ароматический полиамид фенилон мелкодисперсного порошка карбонильного никеля, улучшает износостойкость фенилона практически в 11 раз, а меди – в 2.

Таблица 3. Трибологические свойства металлополимеров

Свойства	C-1	Al	Br	Cu	Ti	Ni
Интенсивность износа, $\cdot 10^{-8}$	3,95	0,92	1,9	2,08	1,3	0,35
Коэффициент трения	0,52	0,35	0,27	0,39	0,25	0,43

Поскольку наполнение фенилона металлическими частицами обеспечивает хорошую износостойкость полимеру, научный интерес составляло изучение влияния режимов трения на свойства металлополимеров (см. рис. 4).

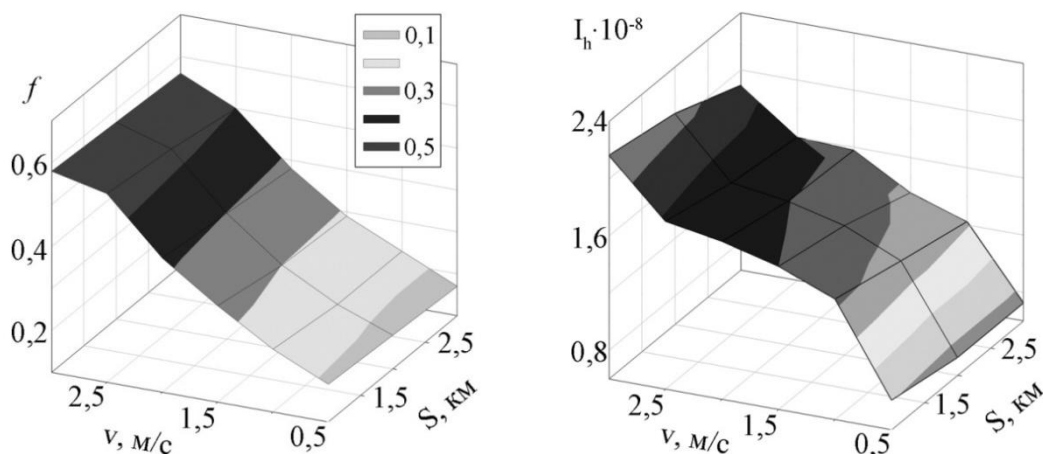


Рис. 4. Влияние режимов эксплуатации на коэффициент трения (f) и интенсивность износа (I_h) металлополимера, наполненного 15 масс. % Ni при нагрузке 0,6 МПа



Как видно из рис. 4, при малых и средних скоростях скольжения коэффициент трения практически не меняется, поскольку в этом случае трение большей частью обусловлено местной адгезией и срезом в областях пленки переноса.

В процессе изнашивания образуются мелкодисперсные продукты износа, представляющие собой мелкодисперсный порошок, по цвету близкий к исходной композиции. Эти частицы заполняют микровпадины на поверхности контртела, в результате чего трение реализуется уже не по стали, а по продуктам износа. Это свидетельствует о псевдоупругом механизме истирания, который обеспечивает наиболее длительный срок службы сопряжений и минимальный рост зазоров сочленения [7].

Перенос материала с одной поверхности пары скольжения на другую можно рассматривать как неотъемлемую часть нормального изнашивания, при котором снижается адгезия на границе раздела МП – контртело и, как следствие, уменьшается сила трения.

При увеличении скорости скольжения поверхность раздела не может достичь стационарного температурного состояния, что ведет к местному разрушению смазочной пленки переноса и возрастанию адгезии, как следствие, коэффициент трения возрастает [8].

Что касается интенсивности износа, то увеличение скорости скольжения приводит к незначительному увеличению износа металлополимеров, что обусловлено увеличением адгезии. Интересно отметить, что износ и коэффициент трения снижаются в зависимости от пройденного пути, а это можно объяснить увеличением площади фактического контакта.

Положительные результаты лабораторных исследований износостойкости разработанных металлополимеров при трении без смазки позволили перейти к проведению опытно-промышленных испытаний металлополимерных шкворневых втулок в пассажирском электротранспорте.

В конструкции троллейбусов украинского производства, выпуск которых был налажен еще в 1993 – 1994 гг. были заложены бронзовые детали во многих подшипниковых опорах и подвижных соединениях. Эксплуатация этих машин в последнее время стоит очень дорого, поскольку увеличение дефицита бронзы на рынке Украины и снижение курса национальной валюты привели к мгновенному повышению ее стоимости. Как известно, узлы трения, изготовленные из бронзы, должны работать в условиях хорошей смазки, так как в сухой среде они не работоспособны.

Объектом исследования по заказу депо г. Днепр (Днепропетровск) были выбраны втулки шкворня переднего моста (см. рис. 5) троллейбусов украинского (ЮМЗ Т-2) и русского (ЗиУ-9) производства. Внедрение результатов исследования должно упростить техническое обслуживание и удешевить детали.

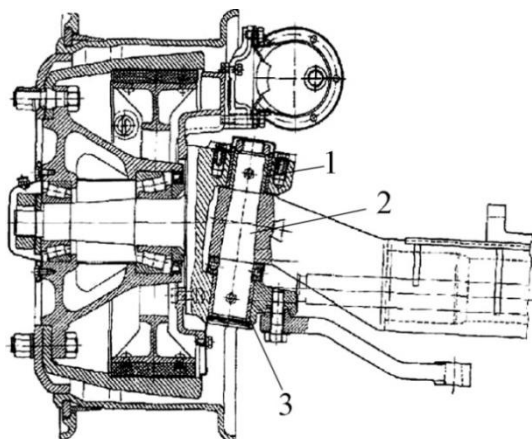


Рис. 5. Передняя ось троллейбуса: 1 – верхняя шкворневая втулка, 2 – шкворень, 3 – нижняя шкворневая втулка

Анализ технического обслуживания подвижного состава в депо г. Днепр отметил невысокое качество и несоблюдение обслуживающим персоналом технологического регламента. Однако даже при высоком уровне технического обслуживания стоимость серийных бронзовых втулок и их обслуживания слишком высока для использования в данном виде транспорта.

В троллейбусном депо №1 бывали случаи, когда втулки шкворней вытачивали самостоятельно в механическом цехе из труб или круглого профиля. Это было вынужденным производственным шагом из-за недостатка оригинальных запчастей и оборотных средств. Однако это не решало проблемы из-за несоответствия марки бронзы

техническим требованиям. Следует также отметить, что специалисты троллейбусных депо вместо бронзовых деталей использовали детали, изготовленные из чистого полиамида-6, но ощутимых положительных результатов это не дало: такие детали работали в условиях ограниченной смазки, но через 3200 – 3500 км пробега требовали замены вследствие интенсивного износа.

Используя результаты лабораторных исследований можно утверждать, что в указанных узлах с целью снижения металлоемкости и уменьшение стоимости технического обслуживания имеется смысл заменить бронзовые втулки на детали, изготовленные из полимерного композиционного материала на основе ароматического полиамида фенилон С-1, наполненного мелкодисперсным карбонильным никелем.

Во время очередного поточного ремонта троллейбусов были установлены металлополимерные экспериментальные детали (см. табл. 4), которые в дальнейшем эксплуатировались в обычных производственных условиях. Перед испытанием детали были смазаны пластичной смазкой. В дальнейшем они не смазывались. В процессе испытаний не было ни одного выхода из строя экспериментальных деталей, эксплуатация происходила в соответствии с регламентом.

Таблица 4. Характеристики шкворневых втулок троллейбусов

№	Марка троллейбуса	Размер, мм			Вес, кг		Количество
		D	d	h	МП	БрАЖ 9-4	
1	ЗИУ	60	46/48	50	0,08	0,38	40
2	ЮМЗ	60	46/48	70	0,10	0,53	24
3	Skoda	60	46/48	57	0,09	0,43	28

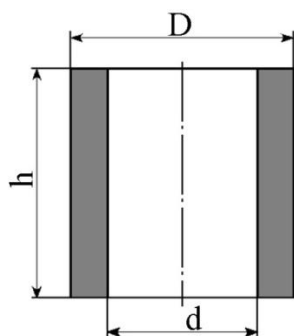


Рис. 6. Шкворневая втулка

Согласно с актом испытаний за период с 11.04.2016 г. по 17.10.2016 г. пробег троллейбусов, укомплектованных экспериментальными деталями, составил в пределах 21179 – 23298 км, что в 6 – 7 раз больше максимально допустимого пробега бронзовых втулок. На день проверки технического состояния установлено, что экспериментальные втулки имеют незначительный износ: люфты в шкворнях незначительные и находятся в допустимых пределах (то есть менее 0,3 мм). В связи с технической пригодностью к эксплуатации, экспериментальные втулки были оставлены для продолжения испытаний.

Учитывая значительное увеличение долговечности металлополимерных шкворневых втулок, их внедрение способно обеспечить экономию оборотных средств троллейбусного депо № 1 минимум в 2 раза, хотя себестоимость этих втулок в 3,6 раза больше бронзовых. Следует отметить, что благодаря предлагаемым размерам втулок можно перекрыть весь диапазон ремонтируемых и сократить закупки новых шкворней. Детали до ремонтного размера обрабатываются обычными методами механической обработки. Таким образом, предлагаются варианты замены серийных деталей узлов трения троллейбусов из сплавов на основе цветных металлов на металлополимерные.

4. Выводы

В ходе исследований на базе термостойкого полиамида С-1 получен ряд новых металлополимеров с улучшенным комплексом характеристик. Установлено, что появление металлических наполнителей в полимерной матрице приводит к повышению твердости на 23 – 45 %, пределов текучести и пропорциональности на 11 – 18 и 23 – 39 %, модуля Юнга на 11 – 25 %. Введение Al, Ti, Ni повышает ударную вязкость композиций. Выявлено, что наименьшим износом в условиях трения без смазки характеризуется металлополимер, содержащий 15 мас. % карбонильного никеля. Производственными испытаниями доказана целесообразность использования металлополимерных втулок в пассажирском электротранспорте взамен бронзовых. Показано, что экспериментальные втулки обеспечивают увеличение пробега электротранспорта в 6 – 7 раз.

Литература

- [1] Kosteckij, B.I., (1970), “Trenie smazka i iznos v mashinah (Friction lubrication and wear in machines)”, Kiev: Tehnika (in Russian).
- [2] “Quels sont les modes de degradation de surface par usure des pieces mecaniques”, *Matériaux et Techniques*, (1989), No 1-2, Vol. 77, P. 24 – 29.
- [3] Kindrachuk, M. et al., (2014), “The friction mechanism between surfaces with regular micro grooves under boundary lubrication”, *Aviation*, 18 (2), P. 64 – 71.
- [4] Ibatullin, I.D., (2008), “Kinetika ustalostnoj povrezhdaemosti i razrusheniya poverhnostnyh sloev (Kinetics of fatigue damage and destruction of surface layers)”, Samara: Samarovskij gosudarstvennyj tehničeskij universitet (in Russian).



- [5] Burya, A.I. and Yeriomina, Ye.A., (2016), “Effect of the nature of metals on wear resistance of metalopolymers based on aromatic polyamide phenylone”, *J. Friction Wear*, No. 2, Vol. 37, P. 197 – 201.
- [6] Burya, A.I., Yeriomina, Ye.A. (2015), “Vlijanje sadržanija bronzy na iznosostojkost' aromatičeskogo poliamida fenilon (Effect of the content bronze on the wear resistance of the aromatic polyamide phenylone)”, *Visnik Chernigivs'kogo derzhavnogo tehničnogo universitetu. Serija «Tehnični nauki»*, No 2, Vol. 78, P. 27 – 32 (in Russian).
- [7] Bartenev, T.M., Lavrent'ev, V.V., (1972), “Trenie i iznos polimerov (Friction and wear of polymers)”, L'vov: Himija (in Russian).
- [8] Moore, F.D, (1975), “Principles and applications of tribology”, Pergamon Press.