

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ЗНОШЕННЯ ПОЛІМЕРНО-КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ НАСОСНИХ ШТАНГ І НАСОСНО-КОМПРЕСОРНИХ ТРУБ

І.Б.Копей, С.І.Гладкий

ІФНТУНГ, 76019, Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 994419

e-mail: yozh@nuing.edu.ua

Изложены основные результаты исследования полимерно-композиционных материалов, применяемых для изготовления насосных штанг и насосно-компрессорных труб, на трение и износ в различных эксплуатационных средах. Установлены механизмы изнашивания и основные факторы, влияющие на ее интенсивность.

Basal data of investigation of polymeric-composition goods, applied for making of rod string loading and pumping tubing are expounded, on a friction and depreciation in different operating environments. Set device deteriorations and basal factors, influencing on its density.

Використання нових полімерно-композиційних матеріалів (ПКМ) для насосних штанг (НШ) і насосно-компресорних труб (НКТ) є одним із шляхів підвищення надійності та довговічності свердловинного обладнання.

Систематичне вивчення властивостей ПКМ ведеться з 1963 р. [1]. На даний час значною мірою висвітлені питання міцності та деформаційних властивостей композиційних матеріалів за різних видів навантажень: розтяг, стиск, згин, удар; вплив температури на фізичні, механічні та електричні властивості ПКМ; природи поверхні розділу наповнювачів та зв'язуючого. Значно менше робіт присвячувалось вивченню трибологічних властивостей ПКМ, зокрема склопластиків, базальтопластиків, вуглепластиків.

З проблем тертя та зношення зібрано і узагальнено значний експериментальний матеріал, на основі якого встановлено важливі теоретичні висновки. Достатньо, наприклад, звернутися до відомих монографій І.В. Крагельського [2, 3], А.С. Ахматова [4], Ф.Р. Боудена і Д.Тейбора [5]. Питаннями тертя та зношення композиційних матеріалів займалися В.Н. Протасов [6], А.К. Погосян [7].

У роботах І.В.Крагельського визначено основні фактори, що впливають на трибологічну взаємодію твердих тіл. Вхідними факторами є природа тіл тертя, проміжне середовище, навантаження, швидкість, температура. Вихідними факторами є сила тертя, яка залежить від коефіцієнту тертя, та інтенсивність зношення.

На основі проведеного аналізу джерел інформації [5-7] з питань тертя та зношення ПКМ можна зробити наступні узагальнення:

- поведінка різних ПКМ під час тертя не завжди може бути достовірно передбаченою;

- ПКМ з волоконними наповнювачами мають високу зносостійкість тільки при низьких швидкостях ковзання (до 50 м/с);

- під час збільшення об'ємного вмісту наповнювача в ПКМ за сухого тертя коефіцієнт тертя знижується;

- на характер зносу значно впливає форма і розташування наповнювача;

- зносостійкість волоконних ПКМ можна підвищити за умов утворення поперечних зв'язків між полімером і наповнювачем.

Проведення хімічних і трибологічних випробувань необхідне для визначення хіміко-трибологічних характеристик ПКМ, порівняння їх з хіміко-трибологічними характеристиками сталей, що використовуються для виготовлення НШ і НКТ, та підтвердження можливості їх використання.

Метою проведення випробувань було: визначення інтенсивності лінійного і масового зношення під час тертя сталевих зразків і зразків з ПКМ; встановлення характеру зношення сталевих зразків і зразків з ПКМ за сухого тертя і за тертя в корозійно-агресивних середовищах; встановлення впливу хімічного середовища (нафтоводяної суміші, нафтокислотної суміші, кислотних розчинів) на трибологічні характеристики зразків з ПКМ; визначення максимальних навантажень, що призводять до катастрофічного зношення під час тертя зразків з ПКМ; визначення температури в зоні контакту зразків під час тертя; визначення коефіцієнта тертя ПКМ по ПКМ та сталі по ПКМ в різних умовах роботи; встановлення трибологічних характеристик полімерно-композиційних матеріалів та визначення можливості їх використання для виготовлення насосних штанг і труб нафтового сортаменту.

Для дослідження характеру зношення полімерно-композиційних матеріалів, що використовуються для виготовлення труб нафтового сортаменту і насосних штанг, в нафтових середовищах, лабораторією кафедри нафтового обладнання Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу розроблено методику хіміко-трибологічних випробувань.

Дослідження проводились на машині тертя СМТ-1. У процесі роботи фіксувалась частота обертання зразків, вимірювались момент тертя, площа тертя, сила притискання зразків, визначалась температура зони тертя. Випробування зразків на машині тертя СМТ-1 проводиться за схемою "диск-колодка". Зразок "диск" - рухомий, зразок "колодка" - нерухомий. Форма та

розміри зразків згідно технічного опису і інструкції з експлуатації машини тертя 2070 СМТ-1. Матеріал зразків "диск": сталь 45; термообробка - нормалізація з високим відпуском, $\sigma_t = 340$ МПа, $\sigma_b = 600$ МПа, НВ 207. Матеріал зразків "колодка": сталь 20Н2М; термообробка - нормалізація з високим відпуском, $\sigma_t = 550$ МПа, $\sigma_b = 700$ МПа, НВ 192-229; склопластик; базальтопластик. Для випробування зразків використовують наступні середовища: складське приміщення без доступу сонячних та інших променів; нафта Долинського родовища; пластова вода; розчини соляної кислоти (5%, 10%, 15%); комбінування між собою таких середовищ, як нафта Долинського родовища, пластова вода, розчини соляної кислоти, мінералізована пластова вода.

Під час тертя ПКМ по жорстких поверхнях в умовах малого тепловиділення в основному спостерігався втомний механізм зношення, обумовлений дискретним характером фрикційного контакту поверхонь. Реальні поверхні твердих тіл завжди хвилясті та шорсткі. Тому їх контактування відбувається на окремих малих площадках, так званих плямах контакту. Число плям контакту і їх розмір залежать від навантаження, деформаційних властивостей поверхневого шару, шорсткості. Під дією нормального навантаження нерівності більш жорсткої поверхні входять в поверхневий шар менш жорстких поверхонь і в області плям контакту виникають напруження і деформації.

Руйнування поверхонь тертя, як правило, проявлялось у відділенні частинок матеріалу. Розмір частинок змінювався в межах від частки мікрметра до декількох мікрметрів. Відділення цих частинок пов'язане з багатократним впливом навантажень, температурних імпульсів на одиничні нерівності. В результаті постійного накопичення незворотних змін виникла неоднорідність структури, напруженого стану, тобто утворювались концентратори, виникали тріщини, які змикаючись, утворювали продукти зносу.

Під час тертя ПКМ по шорстких жорстких поверхнях виникало і абразивне зношення, яке проявлялось в мікрорізанні поверхневого шару композиційного матеріалу. Абразивне зношення викликане також наявністю твердих частинок, які можуть міститися в навколишньому середовищі.

Залежність інтенсивності лінійного зношення (відношення висоти зношеного шару до шляху тертя) від навантаження (контактного тиску) сталевих зразків та зразків з ПКМ під час тертя в різних середовищах представлено на рис. 1. Залежність коефіцієнта тертя від навантаження під час тертя в різних середовищах сталевих зразків по сталі та зразків з ПКМ по сталі представлено на рис. 2.

Із збільшенням контактного тиску інтенсивність зношення зростала. Залежність має нелінійний характер, що обумовлено впливом контактного тиску на ряд параметрів, які визначають інтенсивність зношення: площу фактичного контакту, діаметр плям контакту, розмір зо-

ни деформації [8]. Інтенсивність зношення зразків із склопластика і базальтопластика під час тертя в нафті наближається до інтенсивності зношування сталі за сухого тертя. Підвищення коефіцієнта тертя викликає різке збільшення інтенсивності зношення. З ростом міцності інтенсивність зношення зменшується. Із зменшенням модуля пружності ПКМ інтенсивність зношення зменшується.

Для ПКМ характерні підвищені антифрикційні властивості. Коефіцієнт тертя ПКМ за сухого тертя менший, ніж коефіцієнт тертя сталі в нафтовому середовищі. Найменший коефіцієнт тертя мають композиційні матеріали за спрямування волокон на поверхні тертя у напрямку дії сили тертя.

На механізм зносу ПКМ і інтенсивність зношення під час тертя по твердих поверхнях суттєвий вплив мають температура в зоні тертя і швидкість ковзання.

Залежність інтенсивності лінійного зношення від температури в зоні контакту сталевих зразків та склопластикових зразків за сухого тертя та тертя в рідинному середовищі (нафта) представлено на рис. 3.

Висока температура у поєднанні з високими тисками, які виникають в зонах контакту, приводять до значної зміни властивостей поверхневих шарів, викликають значні температурні напруження. Вплив температури на інтенсивність зношення проявляється побічно через зміну пружно-міцнісних (руйнуюче напруження, модуль пружності, відносне видовження під час розриву) і фрикційних властивостей (коефіцієнт тертя) ПКМ. Під дією температури змінюються фізичний стан ПКМ, його структура. Експлуатаційне середовище має суттєвий вплив на інтенсивність зношення ПКМ. Рідинне середовище, вступаючи у взаємодію з тілами тертя, викликає зміну їх деформаційних та фрикційних властивостей. Адсорбуючись на поверхні тертя, середовище виконує роль мастила. Ефективність мастильної дії середовища визначається його хімічним складом і фізико-хімічними властивостями. У процесі тертя в рідинних середовищах знижується температура в зоні контакту за рахунок більш інтенсивного тепловиділення.

Одержані залежності коефіцієнта тертя від температури в зоні контакту сталевих зразків та склопластикових зразків за сухого тертя та тертя в рідинному середовищі (нафта) представлено на рис. 4.

У склопластика сила тертя і площа контакту мало залежать від температури на поверхні тертя. Після 120°C відбувається руйнування склопластикового зразка.

В області малих швидкостей ковзання коефіцієнт тертя і інтенсивність зношення практично не змінювались. В області великих швидкостей знижувався коефіцієнт тертя і зменшувалась інтенсивність зношення (за умови, що температура не змінюється). Однак із збільшенням швидкості ковзання температура в зоні контакту зростає, тому інтенсивність зношення зростає.

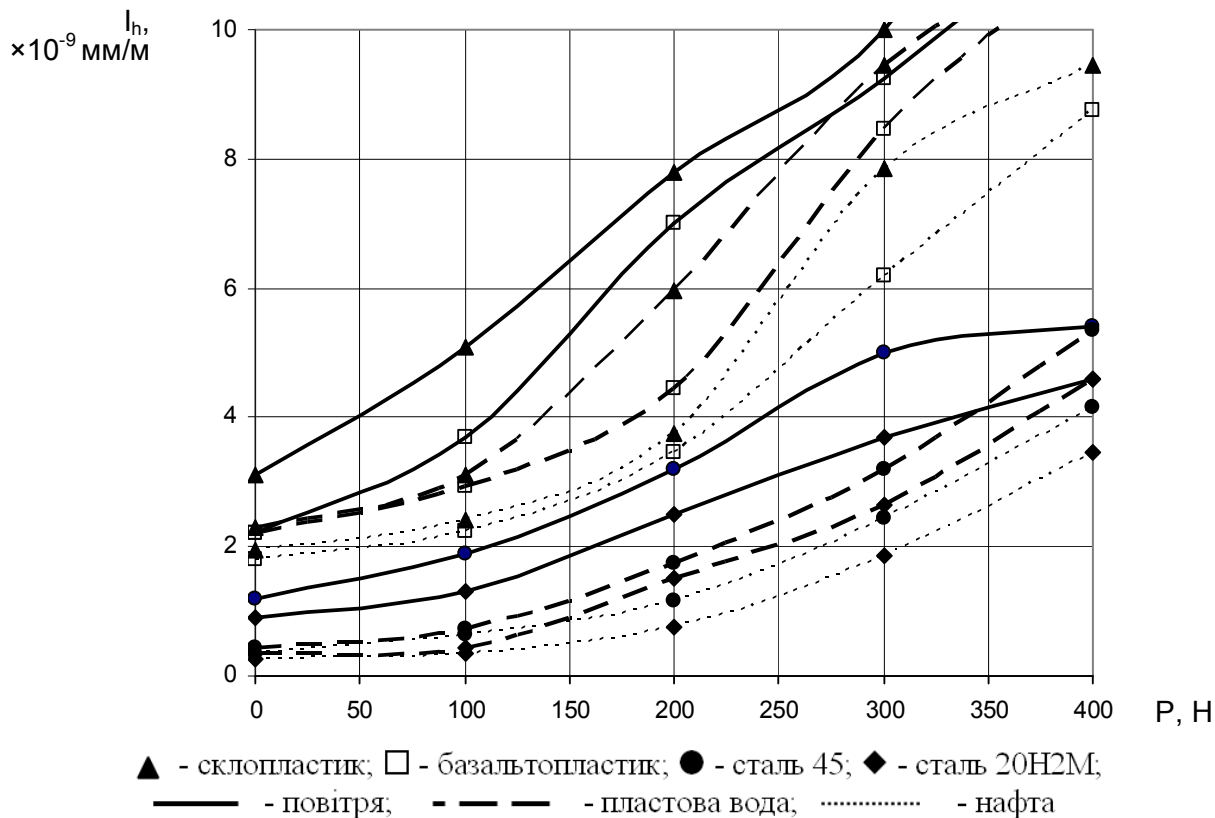


Рисунок 1 — Залежність інтенсивності лінійного зношення (I_h) від навантаження в різних середовищах

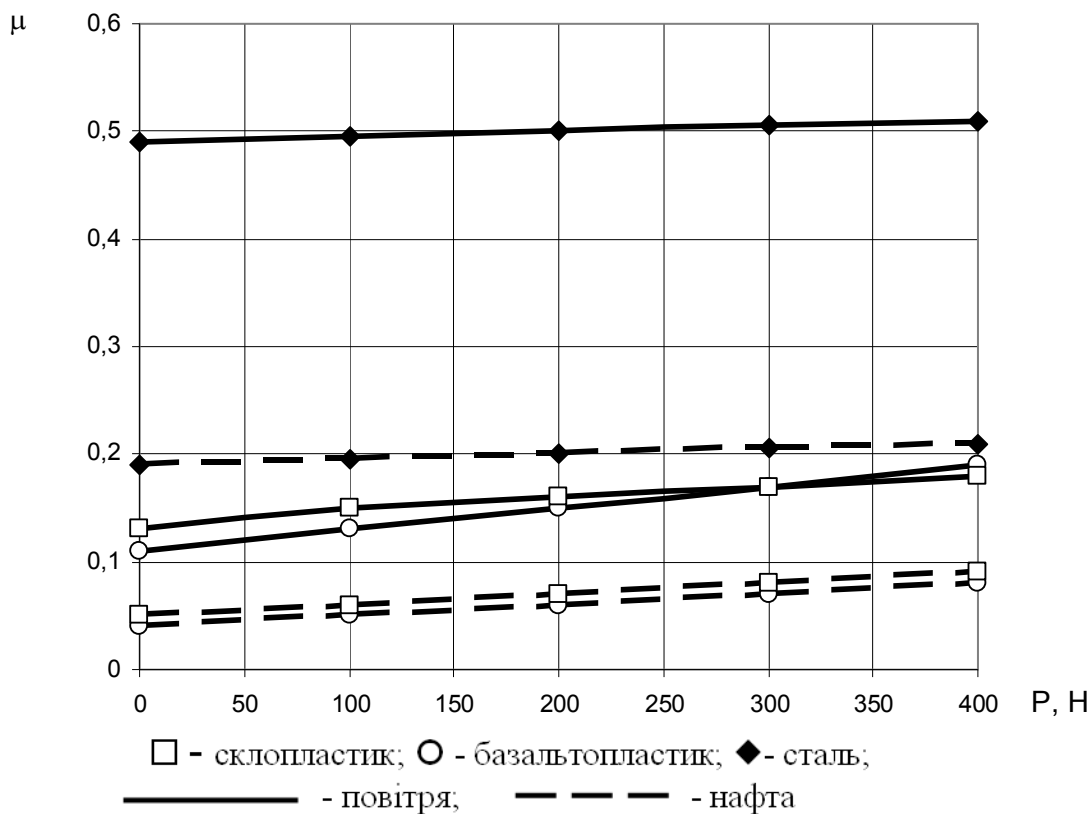


Рисунок 2 — Залежність коефіцієнта тертя від навантаження

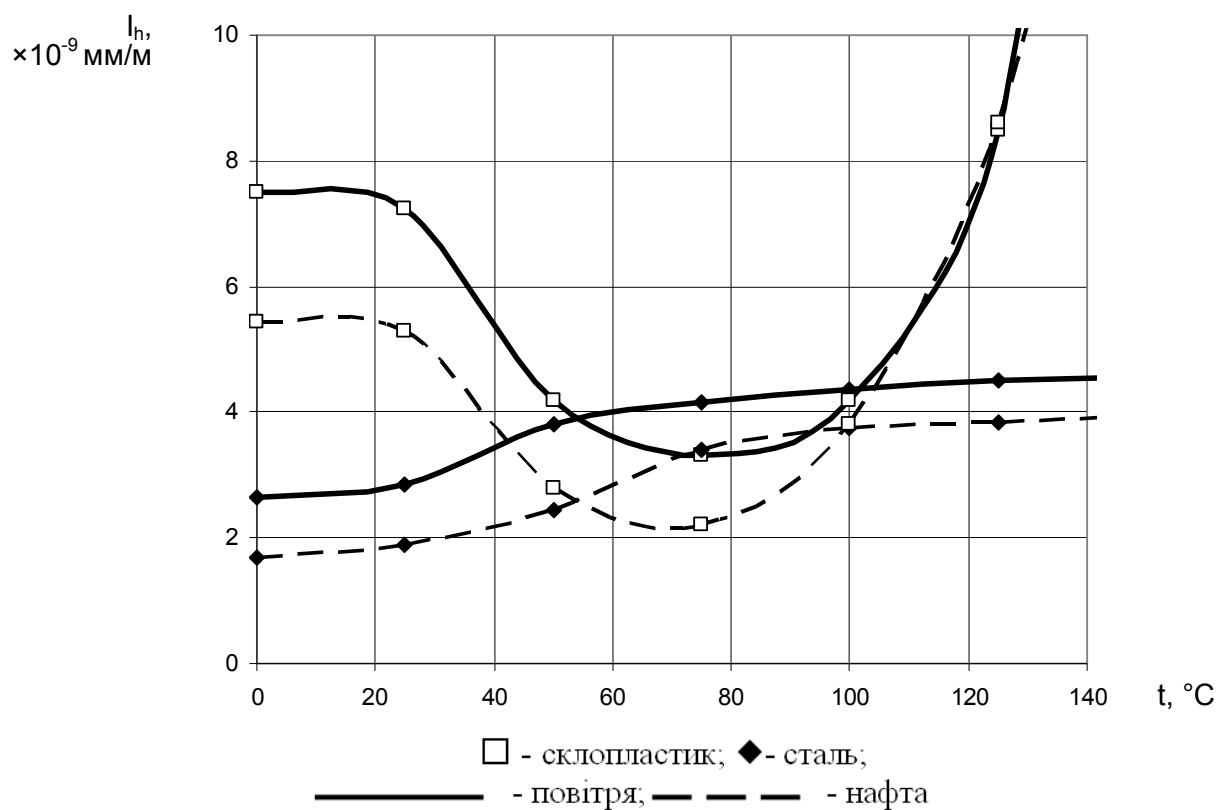


Рисунок 3 — Залежність інтенсивності лінійного зношення від температури в зоні тертя за навантаження 200 Н

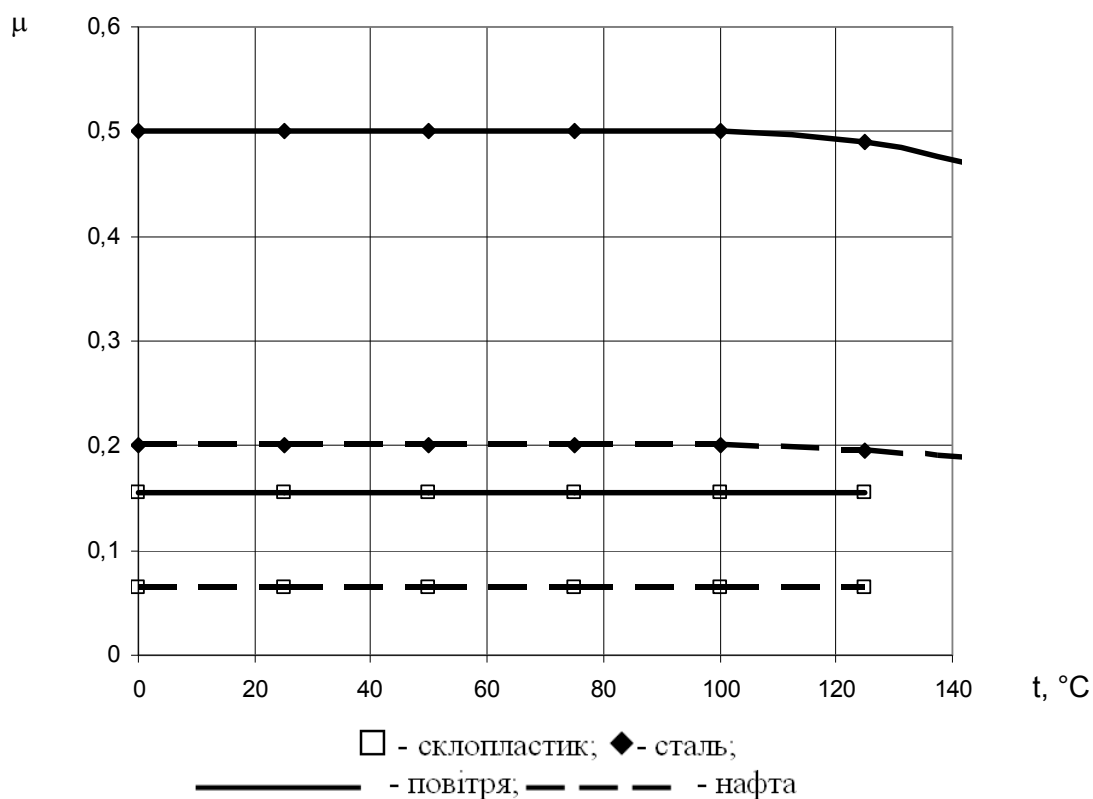


Рисунок 4 — Залежність коефіцієнта тертя від температури в зоні тертя за навантаження 200 Н

В результаті проведених досліджень встановлено, що із збільшенням навантаження в зоні контакту інтенсивність зношення зразків з ПКМ збільшувалась за нелінійною залежністю. У процесі випробувань встановлено, що значення коефіцієнтів тертя як склопластикових, так і базальтопластикових зразків по сталі знаходяться в межах від 0,11-0,19 (у процесі випробувань в складському приміщенні без доступу сонячних променів) до 0,05 (під час випробування в нафті Долинського родовища), тому можна говорити про збіг цих величин для скло- і базальтопластиків. Встановлено, що критична температура на поверхні тертя 120°C, максимальне навантаження на номінальну площу контакту 1 см² за нульової швидкості ковзання – 7000 Н. Вище цих меж відбувалось руйнування матеріалу полімерно-композиційних зразків, яке проявлялося у вигляді виривання окремих армуючих волокон, розшаровувань, викришування. Крім цього, на основі проведених дослідів виявлено, що процеси, які відбуваються під час тертя і зношуванні композиційних матеріалів відрізняються від аналогічних процесів для сталевих зразків, вони не є стійкими і залежать від багатьох зовнішніх факторів.

Механізм зношення ПКМ має втомний характер. Інтенсивність зношення зразків з склопластика і базальтопластика під час тертя в нафті наближається до інтенсивності зношення сталі за сухого тертя. Для ПКМ характерні підвищені антифрикційні властивості. Вище вказані висновки дають змогу використовувати ПКМ для виготовлення свердловинного обладнання. Однак на механізм зношення ПКМ і інтенсивність зношення під час тертя по твердих поверхнях суттєвий вплив мають температура в зоні тертя і швидкість ковзання.

- 1 Композиционные материалы. Поверхности раздела в полимерных композитах / Под общ. ред. Л.Браутмана, Р.Крока: Пер. с англ. В 8-ми томах. – Т. 6. – М.: Мир, 1978. – 295 с.
- 2 Крагельский И.В. Трение и износ. – М.: Машиностроение, 1968.
- 3 Крагельский И.В., Добычин М.Н., Комбалов В.С. Основы расчетов на трение и износ. – М.: Машиностроение, 1977.
- 4 А.С.Ахматов. Молекулярная физика граничного трения. – М.: Физматгиз, 1963. – 472 с.
- 5 Bowden F.P., Tabor D. The Friction and Lubrication of Solids. – London, 1954, 372 p.
- 6 Протасов В.Н. Полимерные покрытия в нефтяной промышленности. – М.: Недра, 1985. – 192 с.
- 7 Погосян А.К. Трение и износ наполненных полимерных материалов. – М.: Наука, 1977. – 138 с.
- 8 Словарь-справочник по трению, износу и смазке деталей машин. – Київ: Наукова думка, 1979.