

## Трибологія: досягнення та перспектива

Надійність і довговічність машин, зокрема транспортних засобів, суттєво залежать від довговічності вузлів трибоспряжень. Переважна більшість втрат роботоздатності елементів машин пов'язана насамперед зі швидким зношуванням контактуючих поверхонь деталей вузлів трибоспряжень або з їх руйнуванням.

Вузли трибоспряжень – це, по суті, два тіла (деталі), які циклічно контактують, або одне тіло котиться по поверхні іншого, або одне з них під час експлуатації в умовах контакту переміщається відносно до іншого паралельно поверхні контакту. В області контакту між тілами є певне змащувальне середовище і продукти зношування, а також діють високі контактні напруження у поверхневих шарах матеріалу. Це призводить до інтенсивної взаємодії експлуатаційного середовища з високонапруженими поверхневими шарами контактуючих тіл. Тому взаємодія змащувальних середовищ з деформованим матеріалом контактуючих тіл – один із важливих аспектів досліджень з ФХММ.

У середині ХХ століття в Радянському Союзі існували три наукові школи з цієї проблематики: І. В. Крагельського [1; 2] (Москва), Б. І. Костецького [3] (Україна) і В. А. Белого [4] (Білорусь). Деякі науковці школи Б. І. Костецького стали членами Наукової ради з ФХММ (1965 р.), а проф. Б. І. Костецький був обраний заступником голови цієї Ради. За його ініціативи в Київському інституті інженерів цивільної авіації (з 2000 р. – Національний авіаційний університет) створено проблемну лабораторію «Тертя, змащування та спрацювання» (1964 р.), а Інститут став базовою організацією з цієї проблематики в Києві. Тут започатковано новий аспект досліджень з ФХММ – вивчення явищ фізико-хімічної механіки процесів тертя та зношування в машинах.

Представниками Київської школи трибологіє є такі науковці: члени-кореспонденти НАН України О. Ф. Аксьонов і М. Л. Голего, доктори наук А. Я. Аляб'єв, В. В. Запорожець, О. В. Карлашов, П. В. Назаренко, М. В. Райко, В. В. Шевеля, М. В. Кіндрачук, Р. Г. Мнацаканов, В. І. Дворук та інші.

Національний авіаційний університет був і залишається одним із провідних наукових осередків в Україні з проблем трибології та міцності деталей машин, зокрема авіаційної техніки. Результати до сліджень цієї школи опубліковані в низці монографічних праць і оглядових статей [5–15]. У 2010 р. науковці університету підготували та провели (19-21 травня 2010 р.) Міжнародну науково-технічну конференцію «Сучасні проблеми трибології» (голова оргкомітету – проф. М. В. Кіндрачук). На конференції розглянуто не тільки актуальні проблеми теорії та практики оцінювання довговічності вузлів трибоспряжень, але і підтримано створення координаційної ради України з цієї проблематики на базі університету (головою ради обрано проф. М. В. Кіндрачука). Науковці цієї школи сформулювали таку тезу про міцність шарів матеріалу контактуючих тіл: Поверхнева міцність матеріалу не може бути прямо пов'язана з властивостями вихідного матеріалу. Вона залежить від властивостей нової фази – вторинних структур, що утворюються з вихідного матеріалу шляхом його структурної перебудови та взаємодії із середовищем. Ця трансформація призводить спочатку до створення нової фази – істинного об'єкта руйнування, і тільки потім – до руйнування. У цьому й полягає корінна відмінність об'ємного та поверхневого руйнування і міцності".

Аналогічну концепцію згодом висунув І. В. Крагельський («Триада Крагельського»), в основу якої поряд з механо-молекулярними концепціями заклав ідею втомного руйнування [16]. Важливу роль у визначенні форми і розмірів фрагментів зношування матеріалу під час циклічного контактування Ю. В. Колесніков і Е. М. Морозов [17] відводять траєкторіям поширення тріщин в зоні контакту. У працях О.П. Дацишин та інших [18–20] запропонована розрахункова модель, в якій використано підходи механіки втомного руйнування трибоспряжень і характеристики тріщиностійкості матеріалу для побудови траєкторії поширення тріщин у приповерхневій зоні циклічно контактуючих тіл. Ця модель дає можливість оцінювати форму та розміри фрагментацій поверхні. В її межах

сформульовано критерій утворення типових контактних-втомних пошкоджень (пітингів, розкришувань поверхонь тощо). Такої точки зору дотримуються деякі сучасні дослідники (наприклад, А. В. Чичинадзе [21]). Модель [1–20] застосовано до контактної взаємодії кочення з проковзуванням, зокрема для систем колесо-рейка [22] та валків станів холодного вальцювання [23] з урахуванням експлуатаційних середовищ (мастила, води), розраховано траєкторії утворення на поверхні контакту пітингу залежно від контактного навантаження, тертя в контакті та тиску мастила чи рідини між берегами тріщини, а також оцінено довговічність елементів систем.

Описані вище моделі та підходи можна використати для аналізу розвитку підповерхневих тріщин і відшарувань контактуючих поверхонь, явищ фретинг-втоми, фретинг-корозії тощо [24; 25].

Це перспективний напрям досліджень довговічності трибоспряжень.

Для реалізації досліджень у галузі довговічності трибоспряжень необхідна сучасна експериментальна база. У цьому напрямку науковці Національного авіаційного університету досягнули великих успіхів. Тут дослідження з теорії тертя та зношування під загальною назвою «Трибологічне забезпечення надійності та довговічності продукції машинобудування» виконують на базі спеціальних лабораторій; діє науковий семінар; регулярно виходить науково-технічний збірник «Проблеми тертя та зношування»; працюють дві спеціалізовані лабораторії: навчально-дослідна з новітніх технологій (керівник – проф. М.В. Кіндрачук) і науково-дослідна з нанотрибології (керівник – член-кор. НАН України О.Ф. Аксьонов).

М. В. Кіндрачук, О. І. Вольченко, М. О. Вольченко, Д. О. Вольченко є авторами наукового відкриття у сфері трибології, яке отримало назву «Явище теплової стабілізації в металополімерних парах тертя [34]. Вчені виявили невідоме раніше явище теплової стабілізації в металополімерних парах тертя, яке полягає в тому, що при термічному опорі контактів металополімерних пар тертя і акумулюванні теплоти в зоні температур вище допустимої для матеріалів поверхневих та приповерхневих шарів у зоні тертя виникає велика кількість мікробатарей із різною енергетичною активністю, які сприяють інверсії теплових потоків від полімера до металу і виникненню стійкої теплової стабілізації при мінімальному температурному градієнті по товщині металевого фрикційного елемента.

Важливим досягненням на початку ХХІ століття наукової школи трибологіє Університету та інших дослідників України стала підготовка і публікація (2009 р.) сучасного українського університетського підручника «Трибологія» [26] (автори М. В. Кіндрачук, В. Ф. Лабунець, М. І. Пашечко, Є. В. Корбут), в якому синтезовано наукові досягнення у галузі теорії зношування трибоспряжень. Крім цього створено інструментарій діагностування стану вузлів тертя [27]. В. В. Запорожець вперше запропонував нові підходи і алгоритми для розв'язування задач трибометрії [28], які стали основою для розробки методів і приладів оцінювання міцності вузлів трибоспряжень і успішно використані під час створення сучасних матеріалів наднизької щільності аерокосмічного призначення [29]. Розроблено ряд технологічних процесів отримання евтектичних покриттів різними фізичними методами (плазмове, детонаційне, газополум'яне, іонно-плазмове, електроіскрове, лазерне опромінення) [30]. Сформульовані евтектичні покриття на основі заліза та опрацьовані технології їх нанесення, впроваджені на ВАТ «Мотор Січ» і ДП ЗМКБ «Івченко-Прогрес». Продовжуються спільні дослідні роботи з Інститутом металофізики НАНУ та ВАТ «Мотор Січ» над створенням порошкових композиційних сплавів на основі кобальту для зміцнення бандажних полиць робочих лопаток ГТД [31]. В Університеті виконують дослідження з аналізу експлуатаційних пошкоджень деталей вузлів тертя і встановлення причин втрати ними роботоздатності [32; 33]. Розвивають новий науковий напрямок трибології — «трибобіомінералізацію», тобто досліджують процеси взаємодії з поверхнею контакту трибоспряжень продуктів мінералоутворення, що спричиняє мікробна корозія.

Важливих здобутків у цій галузі досягнули вчені Інституту проблем матеріалознавства (ІПМ) ім. І.М. Францевича. Починаючи із праць І. М. Федорченка [35], тут зосереджують зусилля на створенні композиційних матеріалів для високооберткових вакуумних

і високо температурних вузлів тертя. У працях І. М. Федорченка, А. Г. Косторнова та інших науковців Інституту [35–44] розроблені комплексні підходи для формування композиційних матеріалів, зокрема для високо обертових вузлів тертя [42]; високотемпературних трибоспряжень [43].

У фізико-механічному Інституті (ФМІ) дослідили вплив стану поверхні сталей і сплавів на їх опір зношуванню за різних умов тертя. Тут розроблено [45] технологію механоімпульсної обробки (МІО) деталей машин, основою якої є інтенсифікація термопластичної деформації поверхневих шарів металу, що веде до утворення дрібнокристалічних структур у вигляді так званих «білих шарів». МІО полягає у нагріванні поверхневих шарів металу під час швидкісного тертя до температур вище точки фазових перетворень (850...1200°C) і одночасній термопластичній деформації, подальшому інтенсивному охолодженні внаслідок відведення тепла із приповерхневих шарів у інструмент, деталь і технологічне середовище. МІО заснована на принципах шліфувальних операцій і є фінішною, яка підвищує робото здатність пар тертя із сталей і чавунів у 2–3 рази порівняно із гартуваними сталями [46].

Досліджено вплив дифузійного насичення поверхні сталей бором, хромом, ванадієм, титаном та іншими елементами на триботехнічні характеристики та параметри зношування деталей технологічного оснащення, склоформувального і різального інструменту тощо [47]. Виявлено, наприклад, що боридні покриття у 5–10 разів підвищують довговічність робочих органів верстатів для плетення металевих сіток порівняно з гартуванням вуглецевих інструментальних сталей.

У ФМІ вперше розроблено ефективну технологію нанесення електродугових захисних зносотривких покриттів з використанням порошкових електродних дротів [48], яку широко використовують для відновлення деталей, зокрема валів транспортної, гірничодобувної, комунальної, сільськогосподарської техніки, газоперекачувальних агрегатів, спецтехніки, а також поліграфічного устаткування, що працюють в умовах граничного мащення, абразивного ті корозійно-абразивного зношування. Суттєве збільшення тривкості таких покриттів (в 2–3 рази більше, ніж у сталі ШХ-15 НК.С62) спричинене виділенням під час напилення покриттів дисперсних фаз боридів, нітридів та алюмінідів розміром не більше 50 нм, що забезпечує дисперсійне зміцнення покриттів. Маючи природну пористість, напилені покриття добре втримують на шліфованій поверхні мастило, тому можуть працювати в умовах недостатнього мастильного забезпечення [49].

Останнім часом в Інституті працюють над одержанням зносотривких покриттів на титанових сплавах з використанням дифузійного насичення поверхні в контрольованих газових середовищах для підвищення довговічності деталей вузлів тертя авіаційної техніки, медичних імплантатів тощо [50]; досліджують механізм трибокорозії металів, зокрема у наводнювальних середовищах [51].

Вивчають механізм зношування різального і породоруйнівного інструменту та розробляють методи підвищення його довговічності науковці Інституту надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України [52; 53].

Окремі аспекти проблеми довговічності трибоспряжень вивчають і в інших наукових і навчальних закладах України. Відзначимо, зокрема, наукову школу Хмельницького національного університету (А. Г. Кузьменко, В. Г. Каплун, С. Г. Костогриз, В. В. Шевеля, О. В. Диха та інші). Зусилля цієї школи спрямовані на вивчення фізико-хімічних процесів тертя та зношування елементів трибоспряжень і розроблення методів оцінювання робото здатності таких вузлів машин [54–56], створенні прогресивних технологій зміцнення матеріалів [54; 55]; дослідження взаємодії контактних пар за умов номінальне нерухомого фрикційного контакту [59]; вивчення фізико-хімічних аспектів механіки тертя та зносотривкості твердих тіл, зокрема впливу процесів контактної взаємодії змашувальних середовищ на міцність пар тертя під час їх тривалого навантаження (фретинг–втома [60], корозійне розтріскування [61]).

### Список літератури

1. Крагельский И. В. Трение й износ. – М.: Машиностроение, 1968. – 480с.

2. Швецова Е.М., Крагельский И.В. Классификация видов разрушения поверхностей деталей машин в условиях сухого и граничного трения // Трение и износ в машинах. – М.: Изд-во АН СССР, 1953. – Вып. 8. – С. 16–38.
3. Поверхностная прочность материалов при трении / Под ред. Б.И. Костецкого. – К.: Техніка, 1976. – 291 с.
4. Трение и износ материалов на основе полимеров / В.А.Бельш, А.И. Свириденко, М.И. Петраковец и др. – Минск: Наука и техника, 1976. – 430 с.
5. Голего Н.Л. Технологические мероприятия по борьбе с износом в деталях машин. – М.: Машиностроение, 1961. – 273 с.
6. Голего Н.Л. Схватывание в машинах и методы его устранения. – М. Машиностроение, 1965. – 218с.
7. Голего Н.Л., Алябьев АЛ., Шевеля В.В. Фреттинг-коррозия металлов. – К.: Техніка, 1974. – 272с.
8. О роли физико-химических процессов при разрушении поверхностей трения в низкомолекулярных средах / А.Ф. Аксенов, А.А. Литвинов, Ю.И. Короленко и др. // Физ.-хим. механика материалов. – 1973. – № 2. – С. 18–27.
9. Самоорганизация трибосистем / А.Ф. Аксенов, Т.В. Терновая, В.Т. Маслов, А.У. Стельмах // ДАН УССР. Сер. А. - 1990. – № 7. – С. 38–45.
10. Карлашов А.В. Вопросы повышения эксплуатационных свойств материалов и элементов авиационных конструкций. – К.: Техніка, 1980. – 138 с.
11. Карлашов А.В. Коррозионно-усталостная прочность алюминиевых сплавов. – М.: Машиностроение, 1982. – 97 с.
12. Назаренко П.В., Лужанская Н.Я. Роль упругой и пластической составляющих деформации силы внешнего трения // Проблемы трения и изнашивания. – К.: Техніка, 1970. – Вып. 2. – С. 91–94.
13. Райко М.В. Расчет деталей и узлов машин. - К.: Техніка, 1966. - 492 с.
14. Ремонт летательных аппаратов / Н.Л. Голего, В.В. Запорожец, Х.Б. Кордонский и др. – М.: Транспорт, 1977. – 420 с.
15. Ворошнин Л.Г., Киндрачук М.В., Лабунец В.Ф. Износостойкие боридных покрытия. – К.: Техніка, 1989. – 158 с.
16. Крагельский И.В., Добичин М.Н., Комбалов В.С. Основы расчетов на трение и износ. – М.: Машиностроение, 1977. – 529 с.
17. Колесников Ю.В., Морозов Е.М. Механика контактного разрушения. – М.: Наука, 1989. – 220с.
18. Datsyshyn O.P. and Panasyk V.V. Pitting of the rolling bodies contact surface // Wear. – 2001. – 251. – P. 1347 – 1355.
19. Дацишин О.П. Моделювання утворення контактно-втомних пошкоджень і оцінювання довговічності елементів трибоспрязень // Фіз. – хім. механіка матеріалів. – 2011. – № 2. – С. 67–78.
20. Дацишин О.П. Довговічність і руйнування твердих тіл під час їх контактної циклічної взаємодії // Там же. – 2005. – № 6. – С. 5–25.
21. Справочник по триботехнике: в 3-х т. / Под ред. М. Хебды, А.В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение; Варшава: ВКЛ, 1989.
22. Панасюк В.В., Дацишин О.П., Глазов А.Ю. Прогноз контактної тривкості рейок за розвитком пітингу // Машинознавство. – 2007. – № 3. – С. 3–10.
23. Прогноз контактної довговічності опорних валків вальцовальних станів за розвитком пітингу / О.П. Дацишин, В.І. Ткачов, А.Ю. Глазов, Р.А. Хруник // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2006. – № 6. – С. 95–105.
24. Дацишин О.П., Копилець М.М. Прогноз довговічності тіл кочення за розвитком підповерхневої тріщини // Там же. – 2003. – № 6. – С. 13–24.
25. Datsyshyn O.P. and Kadyra V.M. A fracture mechanics approach to prediction of pitting under fatigue conditions // Int. J. Fatigue. – 2006. – 28, № 4. – P. 375 – 385.

26. Трибологія: підручник / М.В. Кіндрачук, В.Ф. Лабунець, М.І. Пашечко, Є.В. Корбут. –К.: «НАУ-друк», 2009. – 392 с.
27. Запорожец В.В., Бердинских В.А. Диагностика узлов трения авиационной техники и спецмашин. – К: КНИГА, 1987. – 163 с.
28. Запорожец В.В., Бердинских В.А. Стохастическое решение обратной задачи трибологии // Трение и знос. –1980. – № 6. – С. 976–986.
29. Никитин Ю.А., Запорожец В.В. Теоретические и экспериментальные основы микромеханических испытаний материалов сверхнизкой плотности (Ч. 1) // Технологические системы – 2009. – № 4 (50) – С. 93–101; Никитин Ю.А., Запорожец В.В. Теоретические и экспериментальные основы микромеханических испытаний материалов сверхнизкой плотности (Ч. 2) // Там же. – 2010. – № 4 (53) – С. 63–69.
30. Формування зносостійких евтектичних покриттів концентрованими джерелами енергії / М.В. Кіндрачук, О.І. Дудка, В.С. Черненко та ін. –К.:ІЗМН, 1997. –119с.
31. Духота О.І., Кіндрачук М.В., Тісов О.В. Композиційні сплави для зміцнення контактних поверхонь бандажних полиць газотурбінних двигунів // Проблеми трибології. – 2010. – № 4. – С.101–104.
32. Духота О.І., Кіндрачук М.В., Потягав В.Ю. Технологічні аспекти забезпечення працездатності циклічно-навантажених деталей вузлів тертя з газотермічними покриттями // Там же. – 2009. – № 1. –С. 81–84.
33. Лабунець В.Ф., Лазарєв В.Г., Козлова П.Формування вторинних структур тертя в умовах мікробної корозії // Проблеми тертя та зношування. –К.: НАУ, 2010. –Вип. 53. –С.116–119.
34. Кіндрачук М.В. Явище теплової стабілізації в металополімерних парах тертя (диплом відкриття № 444, від 18.01.2013 р.) / М.В. Кіндрачук, О.І. Вольченко, М.О. Вольченко, Д.О. Вольченко . – Заявник: Національний авіаційний університет. Пріоритет відкриття: 31 грудня 1970 р.
35. Федорченко И.М., Пугина Л.И. Композиционные спеченные антифрикционные материалы. – К.: Наук, думка, 1980. – 403 с.
36. Косторнов А.Г. Композиционные материалы с эффектом самоорганизации в процессах направленного трибосинтеза для узлов сухого трения // Актуальные проблемы современного материаловедения. – К.: Академперіодика, 2008. – Т. 2. – С. 225–252.
37. Косторнов А.Г., Фушич О.І. Вплив складу порошкового підшипникового матеріалу на основі міді на його службові характеристики // Порошкова металургія. – 2005. – № 3/4. – С. 12–126.
38. Антифрикційні порошкові матеріали на основі міді для високих швидкостей ковзання / А.Г. Косторнов, О.І. Фушич, Т.М. Чевичелова, А.Д. Костенко // Проблеми тертя та зношування. – К.: НАУ, 2006–Вип. 45. – С. 84–96.; Патент № 72823, Україна. Порошковий матеріал на основі міді / А.Г. Косторнов, О.І. Фушич // Бюл. винаходів. – 2005. – № 4; Патент № 73217, Україна. Композиційний антифрикційний самозмащувальний матеріал на основі міді / А.Г. Косторної, Т.М. Чевичелова, О.І. Фушич, П.С. Герцов (ВС), Ю.М. Сімеонова (ВО), Т.Г. Назарські (ВО) // Бюл. винаходів. – 2005. –№ 6; Патент № 77601, Україна. Самозмащувальний композиційний антифрикційний матеріал на основі міді / А.Г. Косторнов, О.І. Фушич, Т.М. Чевичелова, Ю.М. Сімеонова (ВО) // Бюл. винаходів. – 2006. – № 12.
39. Закономерности трения, износа и целенаправленного синтеза поверхностей трения композиционных самозмазывающихся материалов /А.Г. Косторнов, О.И. Фушич, Т.М. Чевичелова, Ю.М. Симеонова, А.Д. Костенко // Порошковая металлургия. – 2007. – № 3/4. –С.11–19.
40. Вплив легувальних компонентів на триботехнічні властивості порошкового матеріалу на основі заліза / А.Г. Косторнов, О.І. Фушич, Т.М. Чевичелова, О.Д. Костенко // Проблеми тертя та зношування. – К.: НАУ, 2007. – Вип. 47. – С. 121–131.
41. Косторнов А.Г., Фушич О.І. Антифрикційні спечені матеріали // Порошковая металлургия. –2р07. – № 9/10. – С. 109–123.

42. Патент № 90073, Україна. Самозмащувальний композиційний антифрикційний матеріал на основі міді для роботи у вакуумі / А.Г. Косторнов, О.І. Фушчич, Т.М. Чевичелова, Ю.М. Сімеонова (ВО), П.С. Герцов (ВО) // Бюл. винаходів. – 2010. – № 6.
43. Панаиоти И.И., Косторнов А.Г., Карпец М.В. Структура фаз трибосинтеза й кинетика их формирования в зоне фрикционного контакте материалов пары трения в условиях теплоимпульсного нагружения // Порошковая металлургия. – 2009. – № 9/10. – С. 23–30.
44. Self – lubrication materials for dry friction / A.G. Kostornov, O.I. Fushchic, T.M. Chevichelova, J.M. Simeonova, G.S.Satirov // Tribology in Industry. – 2009. – №1/2. – P. 21 – 25.
45. Бабей Ю.И. Физические основы импульсного упрочнения стали и чугуна. – К.: Наук, думка, 1980. – 240 с.
46. Кирилів В.І. Підвищення зносотривкості середньовуглецевої сталі нанодиспергуванням поверхневих шарів // Фіз.-хім. механіка матеріалів. 2012. – №1. – С. 111–114.
47. Похмурскш В.Й., Далисов В.Б., Голубец В.М. Повншение долговечности деталей машин с помощью диффузионных покрытий – К.: Наук. думка, 1980. – 189с.
48. Похмурскш В.И., Студент М.М., Пих В.С. Основы формирования защитных и восстановительных покрытий электродуговым напылением из порошковых проволок // Физ.-хим. механика материалов. – 1986. № 6. – С. 11–16. Сьогодні такі покриття базової системи легування Ре-Сг-В-АІ відомі під маркою ФМІ-1, ФМІ-2, ФМІ-5 (Технічні умови України ТУ У С3534506-001-96 «Дріт порошковий для електродугової металізації»).
49. Електродугові відновні та захисні покриття / В.І. Похмурський, М.М. Студент, В.М. Довгунік, Г.В. Похмурська, І.Й. Сидорак. – Львів: Фіз.-мех. ін-т ім. Г.В. Карпенка НАН України, 2005. – 190 Tribological properties of arc sprayed coatings obtained from FeCrB and FeCrC posed powder wires / A. Pokhmurska, M. Student, E. Bielanka, Surface & Coating Technology. // 2002. –V. 151–152. –P. 490–494.
50. Федірко В.М., Погрелюк І.М., Яськів О.І. Термодифузійне багатоконпонентне насичення титанових сплавів. – К.: Наук. думка, 2009. – 165 с.
51. Contradictory efect of chormate inhiditor on corrosive wear of alyuminium allou / I.A. Zin, V.I. Pokhmurskii, V.A. Vynar // Corr. Sci. – 2011. – №53. – p. 904–908.
52. Бондаренко В.П. Триботехнические композиты с высокомолекулярными наполнителями. – К.: Наук, думка, 1987. – 232 с.
53. Клименко С.А., Мельнійчук Ю.О., Встовський Г.В. Фрактальна параметризація структури матеріалів, їх оброблюваність різанням та зносостійкість різального інструменту. – К: ІНМ НАН України, 2009. – 172 с.
54. Кузьменко А.Г. Методи розрахунків і випробувань на зношування та надійність. – Хмельницький: ХНУ, 2002. – 152 с.
55. Кузьменко А.Г. Развитие методов контактной трибомеханики. – Хмельницкий: ХНУ, 2010. – 270 с.
56. Кузьменко А.Г., Дьха А.В., Бабак О.П. Контактная механика й износостойкость смазанных трибосистем. – Хмельницький: ХНУ, 2011. – 250с.
57. Каплун В.Г., Каплун П.В. Прогрессивные технологии упрочнения конструктивных элементов // Современные технологии в машиностроении. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2007. – С. 388 – 403.
58. Пастух И.М. Теория й практика безводородного азотирования в тлеющем разряде. – Харьков: НЕЦ ХФТИ, 2006. – 364 с.
59. Костогриз С.Г., Шалапко Ю.І., Мисліборський Ю.І. В'язкий опір деформації зсуву у номінально нерухомому фрикційному контакті // Проблеми трибології. – 2011. – № 1. – С. 58–63.
60. Шевеля В.В., Олександренко В.П. Трибохимия й реология износостойкости. - Хмельницкий: ХНУ, 2006. – 278 с.
61. Структурно-реологические механизмы снижения динамической напряженности и деформационного упрочнения фрикционного контакта /В.В. Шевеля, А. Трытек, В.П. Олександренко та ін. // Проблеми трибології. – 2010. – № 1. – С. 6–16.