

Кафедра транспортних технологій і логістики

Науковий напрям:

«Наукові основи оптимального проектування та режимів експлуатації
трибосистем машин»



ПРЕЗЕНТАЦІЯ НАУКОВОГО НАПРЯМУ ДОСЛІДЖЕННЯ

наукової школи *«Наукові основи оптимального проектування та режимів експлуатації трибосистем машин»*

Керівник наукової школи доктор технічних наук, професор Войтов Віктор Анатолійович (спеціальність 131 – Прикладна механіка)

1. Візитна картка наукової школи

Перший захист кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.04 – тертя та зношування в машинах, відбувся в 1998 році. Школі більш 20 років. За цей термін, під керівництвом Войтова В.А., захистилося 21 кандидат технічних наук та 1 доктор технічних наук.

2. Проблематика сучасних досліджень, об'єкт та предмет дослідження

Об'єкт дослідження – процеси тертя та зношування в трибосистемах машин з урахуванням: конструкцій трибосистем, з яких складається машина; трибологічних властивостей змащувального середовища, яке застосовується в конструкції; навантажувально-швидкісного діапазону експлуатації та засобів моніторингу залишкового ресурсу.

Предмет дослідження – встановлення закономірностей впливу багатьох факторів на втрати на тертя, швидкість зношування (ресурс), діапазон експлуатації без пошкодження трибосистем. Розкриття та пояснення фізичних явищ, які відбуваються на поверхнях тертя під час експлуатації, розробка та аналіз якості нових, екологічно чистих, змащувальних матеріалів, обґрунтування термінів їх заміни в експлуатації, наукове обґрунтування можливостей застосування нанодобавок до змащувальних матеріалів. Розробка методичних підходів до систем моніторингу трибосистем під час експлуатації машин з метою оцінки залишкового ресурсу.

Перераховані напрями дослідження мають наступний контент – збільшити ресурс машин під час експлуатації, знизити фінансові витрати на технічне обслуговування та ремонт машин, підвищити ефективність експлуатації за рахунок зниження часу простоїв, підвищити надійність машин.

3. Обґрунтування напрямку наукових досліджень

Ресурс трибосистем, які створюють конструкцію машин, є основним визначальним параметром їх довговічності та витрат на експлуатацію і залежить від ряду показників, в тому числі від матеріалів трибоелементів, конструкції, властивостей змащувальних матеріалів, які застосовується при експлуатації.

Майбутній ресурс на етапі проектування нових машин можна спрогнозувати за наступною структурою.

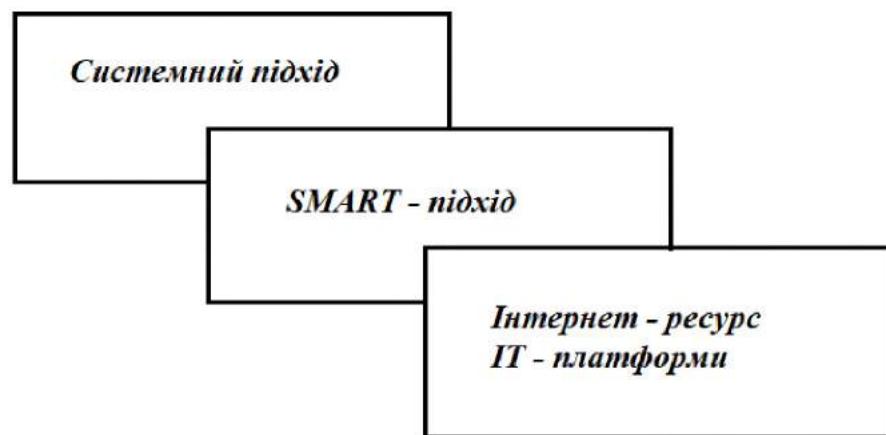
1. Розподіл конструкції машини, що проектується, на трибосистеми. Аналіз трибосистем та визначення «слабкої ланки».

Під «слабкою ланкою» розуміється конструкція трибосистеми, яка має максимальну швидкість зношування, максимальні втрати на тертя, або мінімальний час експлуатації.

2. Вибір оптимальних конструкцій трибосистем, де критерієм оптимізації є однаковий ресурс трибосистем, що складають конструкцію машини. Такий підхід дозволить зменшити витрати на експлуатацію машин за рахунок виключення під час експлуатації поточного ремонту з заміною «слабких ланок».

3. За допомогою математичного моделювання визначається рівноресурсність всіх трибосистем в межах усього терміну експлуатації машини. Тобто, в межах терміну експлуатації машина не підлягає ремонту, а тільки технічному обслуговуванню.

4. Методологічне підґрунтя наукового напрямку



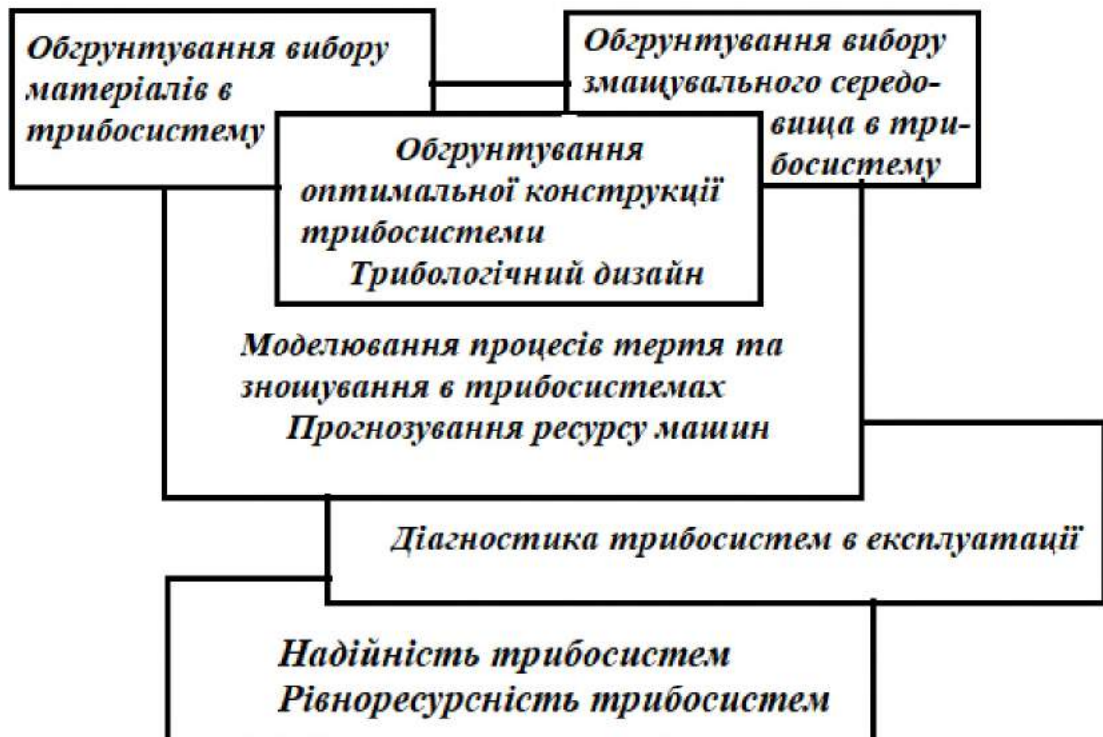
Системний підхід має на меті визначити межі системи (трибосистеми), що досліджується. При цьому особлива увага звертається на різноманіття внутрішніх і зовнішніх зв'язків елементів системи на процес (процедуру) взаємодії елементів, об'єднання основних елементів у єдину складну систему по відношенню до зовнішнього середовища та інших систем.

Системний підхід це система створення із сукупності логічних прийомів, методичних правил і принципів теоретичного дослідження, що виконує евристичну функцію в загальній системі наукового пізнання.

SMART - підхід дозволяє упорядкувати всю наявну інформацію, визначити методичні підходи, мету дослідження, критерії оцінки досягнення мети, аналіз результатів за обраними критеріями, представлення результатів ефективності обраного напрямку та можливого часу на впровадження в виробництво або експлуатацію машин.

Інтернет – ресурс та IT – платформи мають на меті пошук інформації з проблем, що досліджуються, обробка та аналіз інформації за допомогою IT платформ, наприклад, математический форум Math Help Planet, <http://mathhelpplanet.com/static.php?p=onlayn-mnk-i-regressionniy-analiz>.

5. Складові наукового напрямку досліджень



Першою складовою наукового напрямку досліджень є вибір в конструкцію трибосистеми сполучених матеріалів. В основу наукового обґрунтування вибору матеріалів в конструкцію покладено фізичне явище – реологічні властивості структури матеріалів.

Наукові дослідження направлені на встановлення функціонального взаємозв'язку між реологічними властивостями структури матеріалів, які застосовуються конструкторами в трибосистемах та їх зносостійкістю і втратами на тертя.

Наукові світові установи, лабораторії, які займаються аналогічними дослідженнями.

Інженерне проектування та САПР, Байройтський університет, 95447 Байройт, Німеччина

Engineering Design and CAD, University of Bayreuth, 95447 Bayreuth, Germany

Факультет машинобудування та аерокосмічної техніки (DIMEAS), Політехнічний університет Турина, 10129 Турин, Італія

Department of Mechanical and Aerospace Engineering (DIMEAS), Politecnico di Torino, 10129 Torino, Italy

Laboratoire Génie de Production (LGP), Університет Тулузи, INP-ENIT, 47 Avenue d'Azereix, 65000 Tarbes, Франція

Laboratoire Génie de Production (LGP), Université de Toulouse, INP-ENIT, 47 Avenue d'Azereix, 65000 Tarbes, France

Engineering Design, Friedrich-Alexander-University Erlangen-Nuremberg (FAU), 91058 Erlangen, Germany

Державна галузева лабораторія трибології, Університет Цинхуа, Пекін 100084, Китай

State Key Laboratory of Tribology, Tsinghua University, Beijing 100084, China

Школа мехатроніки, Хенанський університет науки и технології, Лоян 471003, Китай

Державна галузева лабораторія обладнання для кондиціонування повітря і систем енергозбереження, Gree Electric Appliances Co., Ltd., Чжухай 519070, Китай

Кафедра хімічної інженерії, біотехнологій і матеріалів, Чилійський університет, Сантьяго 7820436, Чилі

Кафедра машинобудування, Політехнічна школа, Університет Сан-Паулу, Сан-Паулу, 17033360, Бразилія

Такому напрямку досліджень відповідає наступний доробок наукової школи:

1. Войтов А. В. Залежності зміни реологічних властивостей структури сполучених матеріалів у трибосистемі під час припрацювання // *Проблеми тертя та зношування*. 2020. – №. 3 (88). – С. 71-78. [http://dx.doi.org/10.18372/0370-2197.3\(88\).14921](http://dx.doi.org/10.18372/0370-2197.3(88).14921)

2. A Voitov, K Fenenko, O Fenenko Simulation of change in rheological properties of structure of combined materials in tribosystem // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2021, 1021, 012052. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1021/1/012052> (Scopus)

3. В. А. Войтов, А. В. Войтов Методичний підхід до визначення реологічних властивостей структури сполучених матеріалів у трибосистемі // *Проблеми тертя та зношування*. 2020. – №. 2 (87). – С. 4-10. DOI: [10.18372/0370-2197.2\(87\).14719](https://doi.org/10.18372/0370-2197.2(87).14719)

Науково обґрунтовані принципи підбору матеріалів в трибосистемі різного призначення дозволить усунути емпіричний підхід та зменшити витрати на доводку нових конструкцій під час стендових випробувань та підконтрольної експлуатації.

Друга складова наукового напрямку досліджень. Трибологічні властивості змащувальних матеріалів та обґрунтування їх вибору для експлуатації трибосистем, стоять окремим блоком досліджень наукової школи.

На сьогоднішній день великий інтерес викликає застосування нановуглецевих присадок і добавок (фулеренів C60) до змащувальних матеріалів різного походження та матеріалів на базі рослинних олій. Наявність в змащувальному матеріалі добавок фулеренів C60 і відповідної кількості рослинної олії з високим вмістом олеїнової кислоти призводить до утворення на поверхнях тертя

структурованих граничних плівок, які мають шарувату будову, яка володіє високими захисними властивостями для трибосистем. Вище викладене вимагає наукового обґрунтування, теоретичних і експериментальних досліджень по встановленню механізмів взаємодії наночастинок з енергетично активними поверхнями тертя, діапазонів їх використання в процесі експлуатації.

Учнями наукової школи опубліковано низка робіт, в яких виконані теоретичні дослідження формування масляної плівки на поверхні тертя при наявності розчинів фулеренів в змащувальному матеріалі. Математична модель розроблена на основі взаємодії електрично-активних гетерогенних дрібнодисперсних систем на межі розділу поверхня тертя - мастильне середовище та описується диференціальним рівнянням Пуассона. Показано зв'язок електричного поля поверхні тертя і електричного поля в об'ємі рідини.

У наступних роботах авторів представлено моделювання формування масляної плівки на поверхні тертя при наявності розчинів фулеренів в змащувальному матеріалі і їх вплив на швидкість зношування трибосистем. За результатами моделювання встановлено, що величина напруженості електричного поля поверхні тертя є більш значущим фактором при формуванні товщини масляної плівки, ніж величина електричного поля мастильного матеріалу. Встановлено раціональні концентрації фулеренів і високолейнової рослинної олії, як добавки в базові мастильні матеріали, що дозволить знизити швидкість зношування трибосистем.

Наукові світові установи, лабораторії, які займаються аналогічними дослідженнями.

Інститут механіки та електромеханіки, Національний університет Формози 64, Wen-Hua Road, Huwei, Yunlin, 63201, Тайвань

Institute of Mechanical and Electro-Mechanical Engineering, National Formosa University 64, Wen-Hua Road, Huwei, Yunlin, 63201, Taiwan

Thi-Na Ta, natt.mta@gmail.com

Галузева лабораторія науки про інтерфейси та розробки новітніх матеріалів Тайюанського технологічного університету, Міністерство освіти; Коледж матеріалознавства і інженерії Тайюанського технологічного університету, Тайюань, 030024, Китай

Key Laboratory of Interface Science and Engineering in Advanced Materials of Taiyuan University of Technology, Ministry of Education; College of Materials Science and Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan, 030024, China

Департамент науки, Центр технологічної освіти, Холон, а/я 305, Холон 58102, Ізраїль

Department of Science, Center for Technological Education, Holon, PO Box 305, Holon 58102, Israel

L Rapoport, mail: rapoport@barley.cteh.ac.il

Корейський інститут науки і технологій, Сеул, 136-791, Корея

Галузева лабораторія морських матеріалів і технологій, Чжецзянська галузева лабораторія, Нинбоський інститут технології та інженерії матеріалів, Китайська академія наук, Нинбо, 315201, КНР

Computational Science Center, Korea Institute of Science and Technology, Seoul, 136-791, Republic of Korea

Key Laboratory of Marine Materials and Related Technologies, Zhejiang Key Laboratory of Marine Materials and Protective Technologies, Ningbo Institute of Materials Technology and Engineering, Chinese Academy of Sciences, Ningbo, 315201, PR China

Xiaowei Li, lixw0826@gmail.com

Лабораторія розробки та впровадження, Ducom Instruments, 9747 AA Гронинген, Нідерланди

Application Development Laboratory, Ducom Instruments, 9747 AA Groningen, The Netherlands

Школа хімічного машинобудування, Університет Квинсленда, Брисбен, Квинсленд, 4072, Австралія

School of Chemical Engineering, The University of Queensland, Brisbane, QLD, 4072, Australia

Jason R. Stokes, jason.stokes@uq.edu.au

Школа хімії і хімічного машинобудування, Університет Нинся, Іньчуань 750021, Китай

School of Chemistry and Chemical Engineering, Ningxia University, Yinchuan 750021, China

Коледж хімії і хімічного машинобудування Тайюанського технологічного університету, Тайюань 030024, Китай

College of Chemistry and Chemical Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China

Департамент машинобудування, Національний технологічний інститут, Калікут 673601, Керала, Індія

Department of Mechanical Engineering, National Institute of Technology, Calicut 673601, Kerala, India

Chacko Preno Koshy, chackopreno@yahoo.co.in

Нефтогазовий університет Плоєшти, Румунія

Petroleum-Gas University of Ploiești, Romania

Diana-Luciana Cursaru, dianapetre@yahoo.com

Такому напрямку досліджень відповідає наступний доробок наукової школи, у вигляді низки статей:

1. Кравцов А.Г. Разработка математической модели взаимодействия электрически активных гетерогенных мелкодисперсных систем на границе раздела

поверхность трения – смазочная среда / *Проблеми трибології*. – 2017. – № 3. – С. 89 – 99.

2. Кравцов А.Г. Моделирование формирования масляной пленки на поверхности трения при наличии фуллереновых добавок в смазочном материале и ее влияние на скорость изнашивания трибосистем / *Проблеми трибології*. – 2018. – № 1. – С. 69 – 77.

3. Кравцов А.Г. Розробка макрореологічної моделі релаксації напружень в мастильній плівці на поверхні тертя при наявності фулеренів / *Проблеми трибології*. – 2018. – № 4. – С. 36 – 40.

4. Kravcov A.G. Evaluation of tribological characteristics of liquidlubricants with fullerene additives / *Problems of Tribology*. - 2020, - V. 25, - No 3/97, - P. 50-54 <https://doi.org/10.31891/2079-1372-2020-97-3-50-54>

5. Войтов В.А., Кравцов А.Г. Теоретические исследования процесса формирования масляной пленки на поверхности трения при наличии фуллеренов в смазочном материале / *Проблеми тертя та зношування*, - 2020, - №3, -С. 4-11 DOI: [10.18372/0370-2197.3\(88\).14883](https://doi.org/10.18372/0370-2197.3(88).14883)

6. Кравцов А.Г. Оцінка ефективності застосування фулеренових композицій в моторних оливах при експлуатації ДВЗ / *Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів*. – 2020. – № 21. – С. 41 – 49. DOI [10.37700/ts.2020.21.41-49](https://doi.org/10.37700/ts.2020.21.41-49)

7. Кравцов А.Г., Войтов А.В. Оцінка ефективності застосування фулеренових композицій в гідростатичних приводах сільськогосподарських машин / *Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів*. – 2020. – № 22. – С. 211 – 220. DOI [10.37700/ts.2020.22.211-220](https://doi.org/10.37700/ts.2020.22.211-220)

8. Kravtsov A.G. Evaluation of tribological characteristics of technical oils with fullerene compositions / *Problems of Tribology*. – 2020. - V. 25, - No 4/98 , - P. 6-12 <https://doi.org/10.31891/2079-1372-2020-98-4-6-12>

9. Kravtsov A.G. Investigation of the structural viscosity of oil films on the friction surface with fullerene compositions / *Problems of Tribology*. – 2021, - Vol. 26, - No 1/99, - P. 13-19. <https://doi.org/10.31891/2079-1372-2021-96-1-13-19>

10. Войтов В. А., Кравцов А. Г., Войтов А. В. Моделирование процесса релаксации напружений в мастильній плівці на поверхні тертя при наявності фулеренів в мастильному матеріалі / *Проблеми тертя та зношування*. - 2021. – №. 1 (90). – С. 20-29. [http://dx.doi.org/10.18372/0370-2197.1\(90\).15235](http://dx.doi.org/10.18372/0370-2197.1(90).15235)

11. Кравцов А.Г. Дослідження часу релаксації напружень структурою мастильної плівки на поверхні тертя з фулереновими композиціями / *Інженерія природокористування*, - 2021, - №1(19), - С. 13 – 20 [https://doi.org/10.37700/enm.2021.1\(19\).13](https://doi.org/10.37700/enm.2021.1(19).13)

12. Кравцов А.Г. Дослідження часу запізнення в релаксації напружень структурою мастильної плівки на поверхні тертя з фулереновими композиціями / *Інженерія природокористування*. - 2021, - №2(20), - С. 75 – 82 [https://doi.org/10.37700/enm.2021.2\(20\).75](https://doi.org/10.37700/enm.2021.2(20).75)

13. Войтов В. А., Кравцов А. Г. Экспериментальные исследования трибосистем при наявності фулеренів в мастильному матеріалі. Частина 1. За параметром трибологічних характеристик базової оливи / *Проблеми тертя та зношування*. - 2021. – №. 2 (91). – С. 27-36. DOI: [10.18372/0370-2197.2\(91\).15527](https://doi.org/10.18372/0370-2197.2(91).15527)

14. Kravtsov, A. Dependences of changes in the structural viscosity of oil films on the friction surface with fullerene compositions / *Problems of Tribology*, - 2021, - Vol. 26, - No 2/100, - P. 34-40. <https://doi.org/10.31891/2079-1372-2021-100-2-34-40>
15. Кравцов А.Г. Експериментальні дослідження трибосистем при наявності фулеренів в мастильному матеріалі. Частина 3. За конструктивними параметрами трибосистем / *Інженерія природокористування*. - 2021, - №3(21), - С. 12 – 20 [https://doi.org/10.37700/enm.2021.3\(21\).12-20](https://doi.org/10.37700/enm.2021.3(21).12-20)
16. Кравцов А.Г. Дослідження структури сервовитної плівки на поверхні тертя з фулереновими композиціями / *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*, 2021, Випуск 4(35), с. 24-33 DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2021.4\(35\).24-33](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2021.4(35).24-33)
17. Кравцов А.Г., Карнаух М.В. Оцінка ефективності застосування змащувальних матеріалів з фулереновими композиціями при експлуатації в магістральному циклі вантажних автомобілів / *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv. Ukraine. 2021, Vol. 12, No 2, с. 89-95 <http://dx.doi.org/10.31548/machenergy2021.02.089>
18. Kravtsov, A. System analysis of friction and wear processes when using fullerene compositions in lubricants / *Problems of tribology*, 2021, 26(3/101), с. 15-25. <https://doi.org/https://doi.org/10.31891/2079-1372-2021-101-3-15-25>
19. Кравцов А. Г., Войтов А.В. Експериментальні дослідження трибосистем при наявності фулеренів в мастильному матеріалі. Частина 2. За параметром навантажувально-швидкісного діапазону // *Проблеми тертя та зношування*. 2021. – №. 3 (92). – С. 36-46. [https://doi.org/10.18372/0370-2197.3\(92\).15935](https://doi.org/10.18372/0370-2197.3(92).15935)
20. Andriy Kravtsov, Mykola Karnaukh, Lubomir Slobodyan. Efficiency evaluation of using lubricants with fullerene compositions during operation of trucks in the urban driving cycle / *Scientific Journal of TNTU*. — Tern.: TNTU, 2021. — Vol 102. — No 2. — P. 130–139. ISSN: 2522-
21. Vojtov V. A., Kravtsov A. G. Tsymbal B. M. Evaluation of Tribotechnical Characteristics of Tribosystems in the Presence of Fullerenes in the Lubricant / *FRICITION AND WEAR*, - 2020, - Vol. 41, - No. 6, - P. 521- 525. DOI: [10.3103/S1068366620060197](https://doi.org/10.3103/S1068366620060197) (Scopus)
22. Kravtsov A., Gradiskiy Y., Tsymbal B., Borak K. Simulation of the oil film thickness on a friction surface in the presence of fullerene compositions in the lubricant / *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, - 2021, - Vol. 1021(1), - P. 012040. doi:[10.1088/1757-899X/1021/1/012040](https://doi.org/10.1088/1757-899X/1021/1/012040) (Scopus)
23. Kravtsov, A., Suska, A., Biekirov, A., Levkin, D. Development of a rheological model of stress relaxation in the structure of an oil film on the friction surface with fullerene additives / *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, - 2021, - Vol. 3 (7 (111)), - P.93–99. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.235468> (Scopus)

Опубліковані роботи є науковою основою для подальших досліджень спрямованих на розкриття механізмів формування масляної плівки на поверхні тертя при наявності фулеренових добавок в змащувальному матеріалі і її вплив на швидкість зношування трибосистем. Заявлена тематика зареєстрована як тема «Розробка теоретичних основ використання наноматеріалів в змащувальних

матеріалах для експлуатації засобів транспорту» (д/р №0118U003313, 2018 – 2023 рр.)

Третьою складовою наукового напрямку досліджень є вибір в конструкцію трибосистеми геометричних розмірів трибоелементів. По-перше, геометричні розміри встановлюються конструктором при розрахунках на міцність або на продуктивність. Встановлено, що такий підхід не є оптимальним. Зносостійкість та втрати на тертя мають інші залежності, які не корелюють з розрахунками на міцність або на продуктивність.

В основу наукового обґрунтування вибору величин площ тертя та об'ємів матеріалів, які розташовані під площами тертя покладено підхід, який отримав назву конструктивна зносостійкість, або трибологічний дизайн.

Наукові дослідження направлені на встановлення функціонального взаємозв'язку між параметрами (критеріями) які оцінюють дизайн трибосистем та зносостійкістю та втратами на тертя таких трибосистем.

Наукові світові установи, лабораторії, які займаються аналогічними дослідженнями.

Інститут машин і транспортних засобів (IMRIPS), Познанський технологічний університет, Польща

Institute of Machines and Motor Vehicles (IMRiPS), Poznan University of Technology, Poland

Laboratoire de Tribologie et Dynamique des Systèmes (LTDS)–C.N.R.S., École Centrale de Lyon, France

Montanuniversität Leoben, кафедра машинобудування, Австрія

Montanuniversität Leoben, Chair for Mechanical Engineering, Austria

Група трибології і елементів машин, Факультет матеріалознавства, Технологічний університет Тампере, а/я 589, 33101 Тампере, Фінляндія

Group of Tribology and Machine Elements Department of Materials Science, Tampere University of Technology, PO BOX 589, 33101 Tampere, Finland

Відділ енергетичних технологій, Аргонська національна лабораторія, 9700 S Cass Avenue, Argonne, IL 60439, USA

Energy Technology Division, Argonne National Laboratory, 9700 S Cass Avenue, Argonne, IL 60439, USA

Відділення геологічних і планетарних наук, Каліфорнійський технологічний інститут, Пасадена, Каліфорнія 91125, США

Division of Geological and Planetary Science, California Institute of Technology, Pasadena, CA 91125, United States

Факультет механіки, Тяньцзиньський університет, Тяньцзинь 300350, Китай

Тяньцзиньська галузева лабораторія нелінійної динаміки і управління,
Тяньцзинь 300350, Китай

Department of Mechanics, Tianjin University, Tianjin 300350, China

Tianjin Key Laboratory of Nonlinear Dynamics and Control, Tianjin 300350, China

Галузева лабораторія аерокосмічних підшипникових технологій і обладнання
МІТ, Харбінський технологічний інститут, Харбін, 150001, Китай

MIIT Key Laboratory of Aerospace Bearing Technology and Equipment, Harbin
Institute of Technology, Harbin, 150001, China

Такому напрямку досліджень відповідає наступний доробок наукової школи, у вигляді монографії та низки статей:

1. Войтов В.А. Принципы конструктивной износостойкости узлов трения гидромашин / В.А. Войтов, О.М. Яхно, Ф.Х. Аби-Сааб. – К.: КПИ, 1999. – 192 с.

2. Viktor Vojtov, Abliatif Biekirov, Anton Voitov. The quality of the tribosystem as a factor of wear resistance // *International Journal of Engineering & Technology*, 2018, Vol 7, № 4.3 P. 25-29. DOI: [10.14419/ijet.v7i4.3.19547](https://doi.org/10.14419/ijet.v7i4.3.19547)

3. Войтов А. В. Моделирование процессов тертя та зношування при використанні зворотних конструкцій трибосистем // *Проблеми тертя та зношування*. 2019. – №. 3 (84). – С. 102-107. DOI: [10.18372/0370-2197.3\(84\).13860](https://doi.org/10.18372/0370-2197.3(84).13860)

4. Voitov A.V. Modeling the processes of friction and wear under dynamic influences on the tribosystem // *Problems of Tribology*, V. 25, No 3/97 – 2020, 45-49. DOI: [10.31891/2079-1372-2020-97-3-45-49](https://doi.org/10.31891/2079-1372-2020-97-3-45-49)

5. V.A. Vojtov, A.V. Voitov Assessment of the quality factor of tribosystems and relationship with tribological characteristics // *Problems of Tribology*, V. 25, No 4/98 – 2020, 20-26. <https://doi.org/10.31891/2079-1372-2020-98-4-20-26>

Четвертою складовою наукового напрямку досліджень є розробка методології створення математичних моделей та отримання результатів моделювання для визначення «слабких ланок» в конструкціях, що проектуються.

Наукові світові установи, лабораторії, які займаються аналогічними дослідженнями.

Fraunhofer IWM MikroTribologie Centrum, Rintheimer Querallee 2a, 76131
Karlsruhe , Germany

Інститут машинобудування і трибології Університет Лейбніца в Ганновері,
Welfengarten 1A, 30167 Ганновер, Німеччина

Institute of Machine Design and Tribology, Leibniz University Hannover,
Welfengarten 1A, 30167 Hannover, Germany

ІРЕК — Інститут розробки продуктів, Технологічного інституту Карлсруе
(KIT), Kaiserstraße 10, 76131 Карлсруе, Німеччина

IPEK—Institute of Product Engineering, Karlsruhe Institute of Technology (KIT),
Kaiserstraße 10, 76131 Karlsruhe, Germany

Koehler Instrument Company, Holtsville, NY 11742, USA
Department of Mechanical Engineering, Polytechnic School, University of São
Paulo, São Paulo 17033360, Brazil

Department of Chemical Engineering, Biotechnology and Materials, University of
Chile, Santiago 7820436, Chile

Koehler Instrument Company, Холтсвілл, NY 11742, США

Інженерне проектування, Університет Фридриха-Олександра Ерланген-
Нюрнберг (FAU), 91058 Ерланген, Німеччина

Галузева лабораторія холодильного обладнання і технологій енергозбереження
провінції Гуандун, Gree Electric Appliances Co., Ltd., Чжухай 519070, Китай

School of Mechatronics Engineering, Henan University of Science and Technology,
Luoyang 471003, China

State Key Laboratory of Air-Conditioning Equipment and System Energy
Conservation, Gree Electric Appliances Co., Ltd., Zhuhai 519070, China

Guangdong Key Laboratory of Refrigeration Equipment and Energy Conservation
Technology, Gree Electric Appliances Co., Ltd., Zhuhai 519070, China

Розробці математичних моделей належать наступні напрацювання даної
наукової школи:

1. Войтов А. В. Разработка математической модели стационарных процессов в
трибосистемах в условиях граничной смазки // *Технічний сервіс агропромислового,
лісового та транспортного комплексів*. – Харків: ХНТУСГ, - 2019. – Вип. 16, с. 16-
28.

2. Войтов В., Войтов А. Моделирование меж функционирования трибосистем в
умовах граничного мащення // *Problems of Friction and Wear*. – 2021, – №. 4 (93). – С.
58-69. [https://doi.org/10.18372/0370-2197.4\(93\).16262](https://doi.org/10.18372/0370-2197.4(93).16262)

3. Voitov A.V. Modeling the processes of friction and wear under dynamic
influences on the tribosystem // *Problems of Tribology*, V. 25, No 3/97 – 2020, 45-49.
[DOI: 10.31891/2079-1372-2020-97-3-45-49](https://doi.org/10.31891/2079-1372-2020-97-3-45-49)

4. Voitov, A. Structural identification of the mathematical model of the functioning
of tribosystems under conditions of boundary lubrication. *Problems of Tribology*, 2021, V.
26, No 2/100, P. 26-33. <https://doi.org/10.31891/2079-1372-2021-100-2-26-33>

5. Voitov, A. Parametric identification of the mathematical model of the functioning
of tribosystems in the conditions of boundary lubrication. *Problems of Tribology*, 2021, V.
27, No 3/101, P. 6-14. <https://doi.org/https://doi.org/10.31891/2079-1372-2021-101-3-6-14>

Подальший розвиток математичного моделювання процесів тертя та зношування в трибосистемах лежить в розробці методології вибору моделей, розширення меж їх застосування, в підвищенні інформативності результатів моделювання.

Економічний ефект від застосування такого напрямку дослідження пояснюється зменшенням витрат на лабораторні, стендові та підконтрольні експлуатаційні випробування нових машин перед впровадженням їх в експлуатацію.

П'ята складова наукового напрямку досліджень. Окремим блоком, який притаманний дослідженням наукової школи, є обґрунтування та дослідження методичних підходів моніторингу трибосистем під час експлуатації.

Метою досліджень є встановлення взаємозв'язку між процесами тертя та зношування та інформативними параметрами акустичної емісії, які реєструються під час роботи трибосистем, теоретичне обґрунтування та експериментальне підтвердження структури методики діагностування трибосистем з використанням інформативних частот і амплітуд окремих кластерів. Заявлена тематика зареєстрована як тема «Дослідження, наукове обґрунтування і впровадження конкурентно спроможних ресурсозберігаючих технологій, засобів реновації, нових матеріалів і технічних засобів для інноваційного розвитку агропромислового комплексу», ДР 0109U000362.

На даному етапі учнями школи зроблено теоретичне обґрунтування інформативних частотних смуг в фреймі сигналу акустичної емісії (АЕ), де спостерігаються максимальні значення амплітуд. Теоретично встановлено, що інформативні частоти залежать від наступних груп факторів: конструктивних; технологічних і експлуатаційних. Доведено ступінь впливу факторів на зміну частотного діапазону. Зроблено висновок, що для ефективного діагностування трибосистем необхідно попередньо визначати інформаційний частотний діапазон з урахуванням перерахованих вище факторів.

Для обґрунтування вибору інформативних амплітуд виконано кластерний аналіз фреймів сигналів АЕ із зони тертя трибосистеми з поділом сигналу на групи джерел його генерації. Доведено, що кластерний аналіз дозволяє ідентифікувати поверхневі процеси під час зношування, тим самим підвищити робастність і інформативність методу АЕ.

Наукові світові установи, лабораторії, які займаються аналогічними дослідженнями.

Лабораторія перспективної обробки матеріалів (LAMP), Empa - Швейцарські федеральні лабораторії матеріалознавства і технологій, Унтерштрасс 39, CH-3602, Тун, Швейцарія

Laboratory for Advanced Materials Processing (LAMP), Empa - Swiss Federal Laboratories for Materials Science & Technology, Unterstrass 39, CH-3602, Thun, Switzerland

Tribology Group, Факультет машинобудування, Імперський коледж Лондона, Exhibition Road, SW7 2AZ, Лондон

Tribology Group, Department of Mechanical Engineering, Imperial College London, Exhibition Road, SW7 2AZ, London, United Kingdom

Національна інженерна школа Тарба, 47 авеню д'Азерейкс, 65016, Тарб, Франція.

Nationale d'Ingénieurs de Tarbes, 47 avenue d'Azereix, 65016, Tarbes, France.

Факультет машинобудування, Державний університет Північної Кароліни A&T, Гринсборо, Північна Кароліна 27411, США

Department of Mechanical Engineering, North Carolina A&T State University, Greensboro, NC 27411, USA

Mannur Sundaresan, mannur@ncat.edu

Факультет машинобудування, Технологічний університет Нагаока, 1603-1, Камітоміока, Нагаока-ші, Ніігата-кен, 940-2188, Японія

Department of Mechanical Engineering, Nagaoka University of Technology, 1603-1, Kamitomioka, Nagaoka-shi, Niigata-ken, 940-2188, Japan

Hiroo Taura, htaura@mech.nagaokaut.ac.jp

Такому напрямку досліджень відповідає наступний доробок наукової школи, у вигляді низки статей:

1. Fenenko K.A. Cluster analysis of acoustic emission signals from the friction zone of tribosystems. *Problems of Tribology*, 2020, v. 25, No 2/96, p. 25-33 DOI: <https://doi.org/10.31891/2079-1372-2020-96-2-25-33>

2. Fenenko K.A. The determination of the information frequencies in the frame of the acoustic emission signals from the friction zone of tribosystems. *Problems of Tribology*, 2020, v. 25, No 3/97, p. 6-13 DOI: <https://doi.org/10.31891/2079-1372-2020-97-3-6-13>

3. Vojtov V.A., Fenenko K.A., Voitov A.V. Substantiation of informative amplitudes during registration of acoustic emission signals from the friction zone of tribosystems. *Problems of Tribology*, 2021, vol. 26, №1/99, p. 6-12. DOI: <https://doi.org/10.31891/2079-1372-2021-99-1-6-12>

4. Войтов В. А., Фененко К. А., Войтов А.В. Методика діагностування різних конструкцій трибосистем методом акустичної емісії. *Проблеми тертя та зношування*. 2021, №. 2 (91), с. 18-26. DOI: [10.18372/0370-2197.2\(91\).15526](https://doi.org/10.18372/0370-2197.2(91).15526)

5. Войтов В. А., Фененко К. А., Кравцов А.Г. Експериментальні дослідження інформативних частот акустичної емісії трибосистем при зміні конструктивних, технологічних та експлуатаційних факторів. *Проблеми тертя та зношування*. 2021, №. 3 (92), с. 4-16. DOI: [10.18372/0370-2197.3\(92\).15927](https://doi.org/10.18372/0370-2197.3(92).15927)

6. Войтов В., Фененко К., Кравцов А. Експериментальні дослідження інформативних амплітуд акустичної емісії трибосистем при зміні конструктивних, технологічних та експлуатаційних факторів. *Problems of Friction and Wear*. 2021, №. 4 (93), с. 4-15. [https://doi.org/10.18372/0370-2197.4\(93\).16248](https://doi.org/10.18372/0370-2197.4(93).16248)

7. Vojtov Victor, Fenenko Katherine, Voitov Anton, Hrynkiv Andriy, Lyashuk Oleg, Vovk Yuriy. Methodical Approach to Using Acoustic Emission Method for Tribosystem Monitoring. *Tribology in Industry*, 2022, Vol. 44, No. 3, pp. 470-481. <https://doi.org/10.24874/ti.1298.05.22.08> (Scopus)

8. Vojtov V. A., Biekirov A. Sh., Voitov A. V., Tsybmal B. M. Running-in procedures and performance tests for tribosystems // *Journal of Friction and Wear*, 2019, Vol. 40, No. 5, pp. 376–383. DOI: [10.3103/S1068366619050192](https://doi.org/10.3103/S1068366619050192) (Scopus)

Опубліковані роботи є науковою основою для подальших досліджень спрямованих на розкриття механізмів формування акустичного випромінювання під час експлуатації трибосистем і встановлення функціонального зв'язку з швидкістю зношування та втратами на тертя.

Подальший розвиток методичних основ моніторингу трибосистем в експлуатації лежить в розробці моделей діагностування, зменшення впливу шумів на позитивний сигнал із зони тертя, розширення меж застосування методу акустичної емісії, в підвищенні інформативності результатів діагностування.

Економічний ефект від застосування такого напряму дослідження пояснюється підвищенням надійності експлуатації машин, зменшенням часу простоїв в експлуатації.

6. Практична цінність для економіки та суспільства

Результатом наукових досліджень є наступні практичні розробки.

1. Програмні продукти з моделювання та оптимізації конструкцій трибосистем, що входять в загальну конструкцію машини. Такі продукти застосовуються на етапі проектування нових машин. Дозволяють зменшити строки проектування, зменшити фінансові витрати на розробку нової техніки, зменшити витрати на технічне обслуговування та ремонт машин під час експлуатації.

2. Впровадження новітніх змащувальних матеріалів з нанодобавками у якості присадок для експлуатації машин. Застосування таких матеріалів дозволить збільшити ресурс машин під час експлуатації, що вплине на ефективність їх використання. Аналіз ринку споживання змащувальних матеріалів різного функціонального призначення показує що Україна щорічно споживає сотні тисяч тон мастильних матеріалів різного функціонального призначення. Використання нових мастильних матеріалів, наприклад з вмістом фулеренових композицій, дозволить знизити обсяг споживання, що відповідає потребам суспільства та економіки країни, а також потребам світового ринку.

3. Впровадження новітніх змащувальних матеріалів на основі рослинних олій. Застосування таких матеріалів дозволить зменшити техногенне навантаження на довкілля та зменшити обсяги використання нафти.

4. Впровадження систем моніторингу машин і механізмів під час їх експлуатації. Дозволить визначати критичні режими експлуатації, своєчасне їх усунення та визначати залишковий ресурс. Наявність систем моніторингу дозволить уникнути простоїв машин під час їх експлуатації, що вплине на ефективність їх використання.

Запланований перелік розробок, інформаційно-аналітичних матеріалів, рекомендацій, пропозиції тощо, можуть бути передані для використання поза межами організації-виконавця на підставі укладання договорів, зокрема господарчих і грантових угод, продажу ліцензій тощо.

7. Цінність результатів для підготовки магістрантів, аспірантів і докторантів

Отримані результати за представленою науковою тематикою школи будуть використані при викладанні наступних дисциплін: «Застосування паливо-мастильних матеріалів» та «Енергозбереження на транспорті» та при виконанні магістерських робіт за спеціальністю 133 - Галузеве машинобудування, дисертаційних робіт за спеціальністю 131 – Прикладна механіка.