

УДК 621.891

**О.У. Стельмах, С.П. Шимчук**  
**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ КОНТАКТНИХ ТИСКІВ В**  
**ПРИГРАНИЧНИХ ЗМАЩУВАЛЬНИХ ШАРАХ ТРИБОСИСТЕМИ КОВЗАННЯ**

*В статті приведено спеціальне обладнання та результати експериментальних досліджень контактних тисків в приграничних змащувальних шарах трибосистеми ковзання. Показано, що в зоні контакту при терті тиск у змащувальному шарі відрізняється від розрахункових значень, розрахованих для статичних умов. Шляхом глибокого аналізу результатів розроблено рекомендації та приведено можливі напрямки подальших досліджень*

*Ключові слова: змащувальні шари, пара тертя, контактні напруження, прилади тертя*  
Рис. 3. Літ. 6.

**А.У. Стельмах, С.П. Шимчук**  
**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КОНТАКТНЫХ ДАВЛЕНИЙ В**  
**ПОГРАНИЧНЫХ СМАЗОЧНЫХ СЛОЯХ ТРИБОСИСТЕМЫ СКОЛЬЖЕНИЯ**

*В статье приведены методика и результаты экспериментальных исследований контактных давлений в пограничных смазочных слоях трибосистемы скольжения. При гарантированном зазоре 20 мкм между модельным валом и неподвижным образцом прямоугольной формы, в котором размещено приемное отверстие прямоугольного сечения, что соединено с датчиком измерения давления, были исследованы контактные давления для гидравлической жидкости АМГ-10 и показано, что в зоне контакта при трении давление в смазочном слое отличается от расчетных значений, рассчитанных по Герцу Г. для статических условий. Испытания проведены на приборе трения с линейным контактом с использованием специального программного обеспечения. Путем глубокого анализа результатов разработаны рекомендации и приведены возможные направления дальнейших исследований.*

*Ключевые слова: смазывающие слои, пара трения, контактные напряжения, приборы трения*

**O. Stelmach, S. Shymchuk**  
**EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF CONTACT PRESSURES IN BOUNDARY LAYERS**  
**OF LUBRICATING TRIBOSYSTEMS SLIPPING**

*In the article presents the methods and results of experimental research of contact pressure in the near-boundary lubricating sliding layer tribosystem. With a guaranteed 20 microns gap between the model and the real axis model rectangular shape in which the opening reception hosted rectangular-section that is connected to the gauge pressure measurement was investigated contact pressure hydraulic fluid АМГ-10 and show that in the area contact friction pressure lubricating layer different from the calculated values calculated by H. Hertz static conditions. Tests conducted on the device with linear friction contact using special software. By deep analysis of the results and recommendations possible directions for future research.*

*Keywords: lubricating layers, friction pair, contact stresses, friction devices*

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** При дослідженні основних експлуатаційних властивостей (протизносних та антифрикційних) широкого спектру сучасних мастильних матеріалів найчастіше традиційно використовуються машини та прилади тертя з лінійним та точковим контактом [1]. Неодноразово наголошувалось, що саме при лінійному контакті спостерігається висока відтворюваність результатів випробувань завдяки забезпеченню сталості початкових умов. На приладах тертя проводять дослідження рідких і пластичних мастильних матеріалів та оцінюють їх ефективність за критерієм зношування контактуючих поверхонь модельної пари тертя. Проте, такі випробування зовсім не дають інформації про контактні тиски, які мають місце в зоні контакту та не дозволяють спостерігати динамічні процеси при терті [2].

Огляд літературних джерел [2 - 5] вказує на обмеженість експериментальних пристроїв та методик визначення не тільки товщини змащувального шару, але й на відсутність спеціального обладнання для дослідження фактичного розподілу тиску в змащувальних шарах при терті прямими методами вимірювання в динаміці.

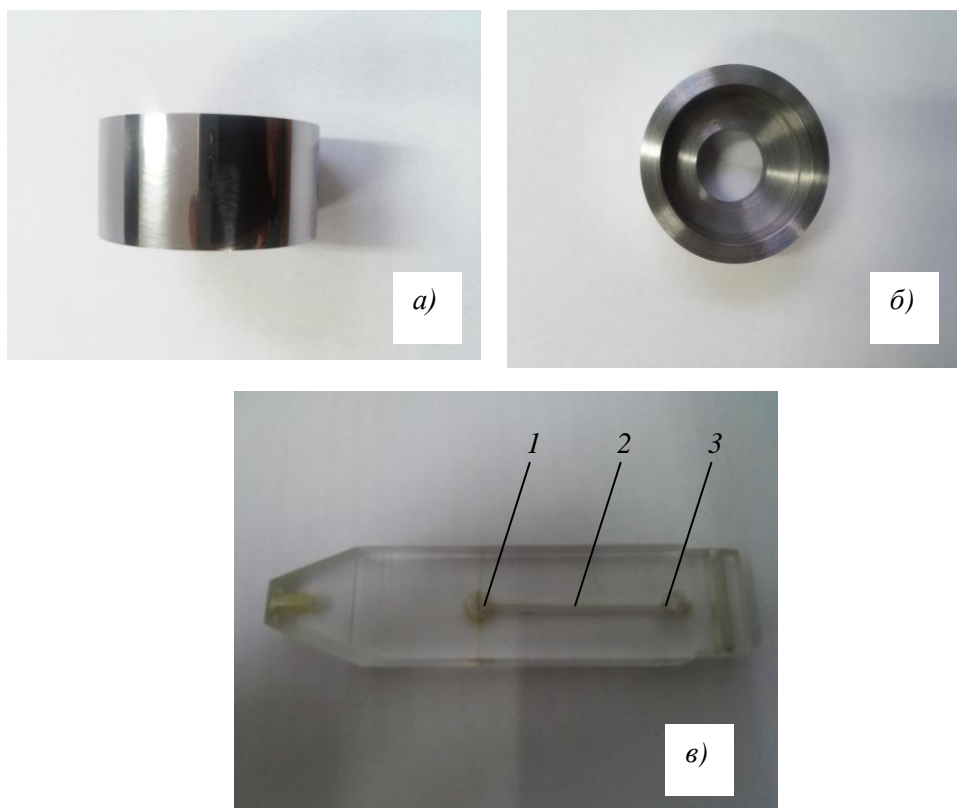
Традиційно вважається, що тиск у змащувальному шарі в зоні контакту при терті повністю тотожний контактним напруженням поверхонь, розрахованим за Герцем Г. у статичних умовах, і завжди вищий, ніж атмосферний [6]. Для підтвердження або спростування цього судження були розроблені та виготовлені лабораторні прилади тертя з оптичним каналом технічного зору для візуального та телевізійного спостереження за перебігом подій у змащувальних шарах.

Розміщення оптично прозорого контакту в лабораторних приладах може бути зверху, що дозволяє неозброєним оком або шляхом фото чи відеофіксації спостерігати за поведінкою змащувальних шарів у зоні контакту при терті, чи знизу. Більшість дослідницьких машин тертя традиційно виготовляється так, щоб зона контакту була повністю занурена в змащувальне

середовище, що приховує від прямого спостереження течії, які виникають безпосередньо в зоні контакту при терті.

**Постановка завдання.** На основі глибокого аналізу динамічних процесів, що мають місце при мащенні трибосистем ковзання з лінійним контактуванням поверхонь тертя розробити методику та дослідити контактні тиски в приграничних змащувальних шарах гідравлічної рідини АМГ-10 експериментальним шляхом.

**Методика дослідження.** Проведення досліджень передбачається при взаємному контактуванні модельного рухомого вала (диска), що обертається з частотою 0,2 м/с по нерухомій площині, в якій розміщено приймальний пристрій у вигляді прямокутного отвору. В літературі зустрічається використання приймальних отворів круглого січення, але вони мають обмежене використання через ряд недоліків (облітерація прохідного січення при дослідженнях високов'язких масел чи його дроселювання мікрозабрудненнями) [2]. Модельний вал, діаметром 40 мм та шириною 20 мм (для усунення впливу вторинних течій на контактну зону), було виготовлено зі сталі ШХ15 гартованої до твердості 64 HRC. Його робочу поверхню доведено алмазними пастами до шорсткості 0,02 мкм. Зразок (нерухому площину з прямокутним приймальним отвором довжиною 6 мм та шириною 0,25 мм) виготовлено з органічного неорієнтованого скла у формі паралелепіпеда (15x30 мм). В його середині було зроблено внутрішні канали, що дозволяють винести штуцер з'єднання з гнучким шлангом на достатню від контакту відстань. До штуцера кріпиться датчик вимірювання тиску. Таке компонування дозволяє завдяки кроковому двигуну модуля сканування виконувати вимірювання локального тиску в широкому діапазоні його зміни за координатою від - 12 до + 12 мм та досліджувати найменші відхилення показників контактних напружень, порівнюючи їх з величиною атмосферного тиску. Загальний вигляд контрзразка та зразка приведено на рис. 1. Приймальний пристрій розташовано паралельно осі обертання модельного вала та лінії початкового контакту, а його переміщення при скануванні локального тиску відбувається у перпендикулярному напрямку.



**Рис. 1. Загальний вигляд деталей модельної трибопари:**

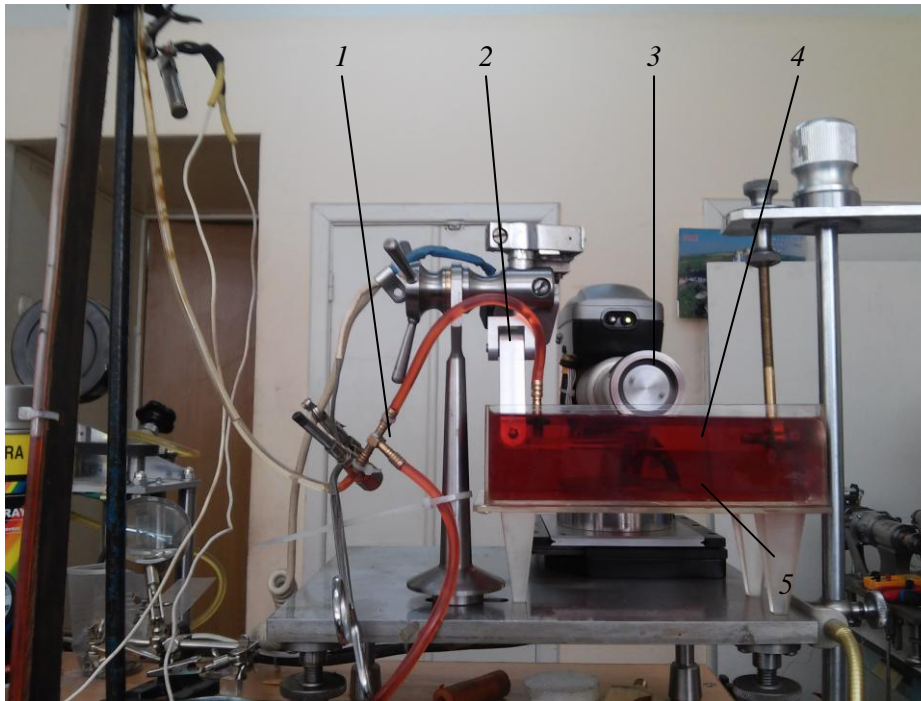
- а) вигляд робочої поверхні вала;
- б) вигляд вала збоку;
- в) вигляд нерухомого зразка з прямокутним приймальним отвором 1, каналом 2 та місцем під штуцер 3

При підготовці лабораторного приладу тертя до роботи потрібно виконати ряд вимог для забезпечення коректності досліджень та вимірювань:

- всі порожнини та трубопроводи потрібно заповнити досліджуваною рідиною таким чином, щоб уникнути наявності в них мікропухирців, для чого слід виконати примусове багаторазове прокачування рідини;

- ретельно заповнити порожнини датчика випробувальною рідиною, видалити з них повітряні пухирці.

**Виклад основного матеріалу статті.** Для виконання наших досліджень було використано модернізований лабораторний прилад АСБ-02 (рис. 2) з нижнім розміщенням оптично прозорого контакту, що дозволило повністю занурювати його у рідину, якою попередньо заповнювалась прозора ванночка.



**Рис. 2. Зовнішній вигляд приладу тертя з оптично прозорим контактом АСБ-02:**

- 1 – система вимірювання тиску з датчиком тиску;
- 2 – система стабілізації миттєвих контактних напружень;
- 3 – система сканування з модельним валом;
- 4 – нерухомий зразок з приймальним отвором;
- 5 – ванночка заповнена робочою рідиною

У розглядуваному приладі тертя забезпечується постійність лінійного миттєвого контакту та рівномірність розподілу контактних напружень завдяки використанню системи самовстановлення. Це досягається через те, що вісь коливання плоского зразка перетинає вісь обертання модельного вала у його центрі мас. Також у приладі реалізовано електромеханічне сканування контактних тисків приймальним отвором прямокутного перетину (рис. 1, в), що з'єднано з датчиком тиску. Сканування відбувається шляхом переміщення електроприводу модельного вала з контрольованою кроковими двигунами швидкістю по поверхні нерухомого зразка в заданих межах. Розроблені та створені спеціальні АЦП, ЦАП та програма керування параметрами тертя забезпечують їх стабільність завдяки зворотньому зв'язку з відповідними датчиками. Інтерфейс програми (рис. 3) дозволяє реєструвати локальний тиск на зрізі приймального отвору, координати, швидкість сканування та інші параметри.

Розподіл тиску в змащувальних шарах гідравлічної рідини АМГ-10 при швидкості модельного вала 0,02 м/с з фіксованим зазором 20 мкм між контактуючими поверхнями досягав до 50 кПа. Приблизно стільки становила і величина розрідження у заданих межах сканування.

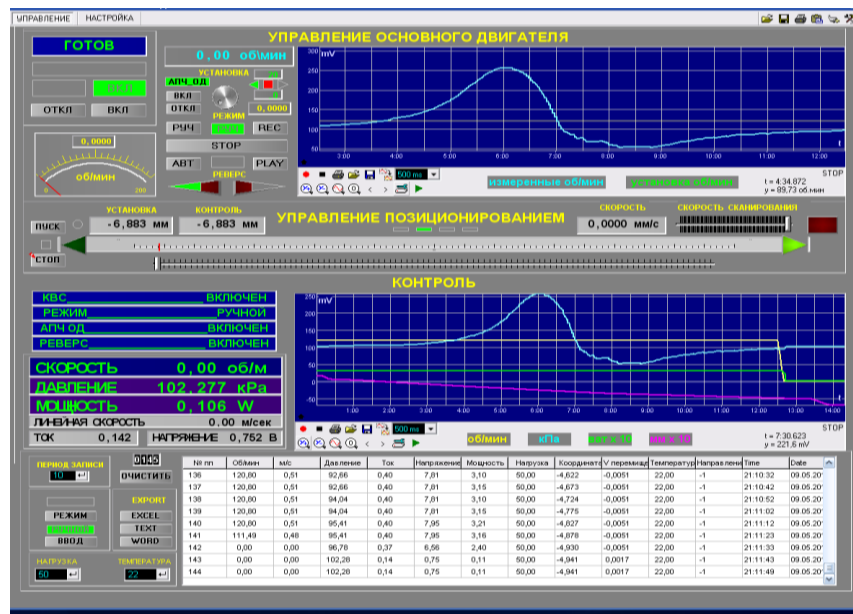


Рис. 3. Інтерфейс автоматизованої системи сканування кроковим двигуном локального тиску в змащувальних шарах з вікном побудови графіка розподілу тиску від координати приладу тертя АСБ-02

**Висновки.** Аналізуючи вище викладене можна зробити такі висновки:

1. Використання прилада тертя АСБ-02 дозволяє визначити контактні тиски в приграничних та граничних шарах сучасних мастильних матеріалів залежно від величини зазору між контактуючими поверхнями, контактної навантаження та швидкості ковзання.
2. Використання принципу вимірювання контактної тиску, реалізованого на приладі тертя АСБ-02, сприяє розробці способу та обладнання для визначення динамічної в'язкості сучасних мастильних матеріалів трибометодом, але це потребує подальших ґрунтовних досліджень.

### Література.

1. Шимчук С.П. Прилад тертя для дослідження конструкційних і мастильних матеріалів при односторонньому і реверсивному терті / С.П. Шимчук // Міжвузівський збірник «Наукові нотатки». Випуск 41, частина 2. Луцьк, 2013. – с.262-268.
2. Стельмах А. У. Адгезивно-деформационные и динамические процессы в граничных слоях. Сообщение II. Новые приборы и методы исследования граничных слоев трибосистем / Стельмах А. У. // Проблемы трибологии. – Хмельницький, 2012. – № 2. – С. 96–107.
3. Стельмах А. У. Исследование динамических процессов в граничных слоях смазки на приборах трения с оптическим каналом съема информации / А. У. Стельмах, К. К. Бадир // Моделирование та інформаційні технології : зб. наук. пр. / НАН України, Ін-т проблем моделювання в енергетиці ім. Г. Є. Пухова. – Київ, 2012. – Вип. 63. – С. 214–224.
4. Стельмах А. У. Адгезивно-деформационные и динамические процессы в граничных слоях. Сообщение III. Взаимосвязь динамических процессов в граничных слоях радиального подшипника скольжения с их физико-механическими, теплофизическими свойствами и механизм возникновения вторичных течений / Стельмах А. У. // Проблемы трибологии, 2012. – № 3. – С. 63–74.
5. Патент на корисну модель № 38141 Україна, МПК G01N 3/56. Прилад для порівняльної оцінки протизносних і антифризних властивостей елементів трибосистем / О. Ф. Аксьонов, О. У. Стельмах, Є. В. Корбут, Р. Є. Костюнік, О. Ю. Сидоренко, С. П. Шимчук, О. В. Куцєв. – № 200808987; опубл. 25.12.08, Бюл. № 24. – 7 с.
6. Hertz H., Collected works, 1881.

### Рецензенти:

Пуць В.С., к.т.н., доцент

Селезнев Э.Л., к.т.н., доцент

Стаття надійшла до редакції 28.03.2016.