

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Машинобудівний інститут, Машинобудівний факультет
(повне найменування інституту, факультету)

Металорізальні верстати та інструмент
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

магістр

(ступінь вищої освіти)


на тему Проект установки для дослідження
тертя в умовах динамічного контактного навантаження

Виконав: студент(ка) 6 курсу, групи М-210м

Спеціальності 133 Галузевемашинобудування
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Металорізальні верстати та інструменти

 Тарасов Р.Р.

(прізвище та ініціали)

Керівник  Диганов В.В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Солоха В.В.

(прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»
 (повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут, факультет Машинобудівний, Машинобудівний
 Кафедра Металорізальні верстати та інструмент
 Ступінь вищої освіти магістр
 Спеціальність 133-1 Металорізальні верстати та системи
 (код і найменування)
 Освітня програма (спеціалізація) 133 Галузуве машинобудування
 (назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МВ та І

М.В. Франко
 « 20 » 12 2014 року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

Тарасов Р.Р.

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Проєкт установки для дослідження тертя в умовах динамічного контактного навантаження

керівник проєкту (роботи) Циганов В.В., д-р техн. наук
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) _____
 3. Вихідні дані до проєкту (роботи) Курсовий проєкт на тему «Проєкт установки для дослідження тертя в умовах динамічного контактного навантаження»

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналіз літературних джерел в області способів і обладнання для дослідження процесів тертя при динамічному контактному навантаженні. 2. Установка для визначення коефіцієнту тертя за умов динамічного контактного навантаження. 3. Проведення багатофакторного експерименту на установці для вимірювання динамічного коефіцієнту тертя. 4. Патент на установку для визначення динамічного коефіцієнту тертя за умов динамічного контактного навантаження. 5. Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Установка для визначення коефіцієнту тертя за умов динамічного контактного навантаження, зразок нижній, зразок верхній

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконав завдання
1-4	Циганов В.В., професор		
5	Шмирко В.І., доцент	<i>В.І.Шмирко 22.10.21</i>	<i>В.І.Шмирко 7.12.21</i>
Нормоконтроль	Матвеєнко Л.С., ст. викл.	<i>Л.С.Матвеєнко 10.12.21</i>	<i>Л.С.Матвеєнко</i>

7. Дата видачі завдання « _____ » _____ 20__ року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітки
1	Обґрунтування та розробка структурно-логічної схеми проведення роботи		
2	Літературний та патентний аналіз	15.09.2021	
3	Побудування схеми установки	01.10.2021	
4	Побудування 3-D- моделі установки	15.10.2021	
5	Розрахунок елементів конструкції	30.10.2021	
6	Розробка методики проведення трифакторного експерименту	15.11.2021	
7	Вирішення питань охорони праці	30.11.2021	
8	Оформлення пояснювальної записки	01.12.2021	
9	Оформлення презентації роботи	06.12.2021	

Студент(ка)

[Signature]
(підпис)

Тарасов Р.Р.
(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

(підпис)

Циганов В.В.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ.: 85 с., 21 рис., 4 табл., 36 джерел.

Винахід відноситься до області механічних випробувань матеріалів, зокрема до визначення динамічного коефіцієнта тертя при взаємному переміщенні зразків.

Метою роботи є проект установки для дослідження коефіцієнту тертя за умов динамічного контактного навантаження.

Спосіб реалізується таким чином. В даному винаході застосований метод, в якому зразки (верхній і нижній) знаходяться один на одному і нижній зразок знаходиться в центрах. Верхній зразок розташовується максимально близько до лівого краю нижнього зразка. Установка наводиться в дію руками, шляхом відхилення на певний кут підвісу із зразками до початка руху верхнього зразка. У момент початку руху нижнього зразка, комп'ютерна програма фіксує кут, аж до десятих хвилин і видає відповідний звуковий сигнал на комп'ютері про початок пуску оператору. Оператор, не надаючи підвісу прискорення відпускає підвіс, і він, під дією сили тяжіння спрямовується вниз. При досягненні нижньої точки нижній зразок вдаряється об упор і зупиняється. Верхній зразок, при впливі сили інерції, продовжує ковзати по нижньому зразком і проходить відстань S . Дана відстань, як і сила тертя, фіксується на комп'ютері, і на ньому малюється осцилограма, проводиться перерахунок отриманих, що дозволяє нам оцінити силу тертя.

В ході магістерської роботи були вирішені наступні задачі:

1. проведено літературний огляд установок та методик досліджень коефіцієнту тертя за умов динамічного контактного навантаження, які використовуються на практиці,
2. проаналізовано та розроблено конструкцію нової установки, розраховано деталі та вузли на міцність

3. розроблено 3-D модель установки та створено кресленики та специфікації на весь виріб.

4. розроблено методологію досліджень коефіцієнту тертя з використанням спроектованої установки та на обробку отриманих результатів.

5. розроблено патент на корисну модель «Пристрій для дослідження тертя в умовах динамічного контактного навантаження».

6. розроблено правила для безпечної експлуатації установки для дослідження тертя в умовах динамічного контактного навантаження.

ABSTRACT

This work is presented on page 85 of the printed text; 21 figures; 4 tables; 36 sources.

The invention relates to the field of mechanical testing of materials, in particular to the determination of the dynamic coefficient of friction in the mutual movement of samples.

The aim of the work is the design of the installation for the study of the coefficient of friction under the conditions of dynamic contact load.

The method is implemented as follows. In the present invention, a method is used in which the samples (upper and lower) are on top of each other and the lower sample is in the centers. The upper specimen is located as close as possible to the left edge of the lower specimen. The installation is actuated by hand, by deviating to a certain angle of the suspension with the samples to the beginning of the movement of the upper sample. At the moment of the beginning of the movement of the lower sample, the computer program fixes the angle up to ten minutes and emits the appropriate sound signal on the computer about the beginning of the operator's start. The operator, without giving the suspension acceleration, releases the suspension, and he, under the action of gravity, goes down. When the lower point is reached, the lower sample hits the stop and stops. The upper sample, under the influence of inertia, continues to slide on the lower sample and passes the distance S . This distance, as well as the force of friction, is recorded on a computer, and an oscilloscope is drawn on it, the results are recalculated, which allows us to estimate the force of friction.

In the course of the master's work the following tasks were solved:

1. the literature review of installations and methods of research of coefficient of friction under the conditions of dynamic contact loading which are used in practice is carried out

2. analyzed and developed the design of the new installation, calculated parts and components for strength

3. developed a 3-D installation model and created drawings and specifications for the entire product

4. the methodology of researches of coefficient of friction with use of the designed installation and on processing of the received results is developed.

5. developed a patent for a utility model "Device for the study of friction in the conditions of dynamic contact loading".

6. developed rules for safe operation of the friction study unit under dynamic contact loading conditions.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	10
1 АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ В ОБЛАСТІ СПОСОБІВ І ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ТЕРТЯ ПРИ ДИНАМІЧНОМУ КОНТАКТНОМУ НАВАНТАЖЕННІ.....	12
1.1 Загальні поняття та визначення. Статичний та динамічний коефіцієнт тертя. Приклади механізмів, де можуть застосовуватися ці характеристики.....	12
1.2 Методи та установки для визначення динамічного коефіцієнта тертя.....	19
2 УСТАНОВКА ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТУ ТЕРТЯ ЗА УМОВ ДИНАМІЧНОГО КОНТАКТНОГО НАВАНТАЖЕННЯ.....	44
2.1 Опис роботи та принципова схема та елементи конструкції установки.....	44
2.2 Основні розрахунки установки для визначення динамічного коефіцієнту.....	49
2.3 Елементи конструкції і підвісу.....	53
2.4 Змашення установки.....	54
3 ПРОВЕДЕННЯ БАГАТОФАКТОРНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ НА УСТАНОВЦІ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ДИНАМІЧНОГО КОЕФІЦІЄНТУ ТЕРТЯ.....	55
3.1 Вибір функції та факторів.....	56
3.2 Скласти узагальнену формулу залежності.....	56
3.3 Перевірити всі фактори на значущість.....	56
3.4 Вибрати межі змін факторів.....	57
3.5 Скласти матрицю проведення багатофакторного експерименту.....	57
3.6 Визначити коефіцієнти регресії.....	58
3.7 Перевірка коефіцієнтів регресії за критерієм Стьюдента.....	58
3.8 Побудова рівняння регресії у кодованому вигляді.....	59

3.9 Перевірка однорідності дисперсії.....	60
3.10 Розкодування рівняння	60
4 ПАТЕНТ НА УСТАНОВКУ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ДИНАМІЧНОГО КОЕФІЦІЄНТУ ТЕРТЯ ЗА УМОВ ДИНАМІЧНОГО КОНТАКТНОГО НАВАНТАЖЕННЯ.....	61
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	66
5.1. Аналіз потенційних небезпек.....	66
5.2 Заходи по забезпеченню техніки безпеки.....	69
5.3. Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці.....	71
5.4 Заходи з пожежної безпеки.....	74
5.5 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях.....	75
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	79
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	80
Додаток 1. Специфікація до складального кресленника.....	85

ВСТУП

Об'єктом магістерської роботи є дослідження тертя в умовах динамічного контактного навантаження. В останній час, з появою нової високоточної техніки, з'являється все більша потреба в вимірюванні тертя та розуміння того, як той чи інший матеріал буде себе поводити в різних умовах. За кордоном в достатній мірі увага приділяється вдосконаленню машинобудування. Важливе значення надається створенню автоматизованих процесів на основі технічного переозброєння або реконструкції діючих процесів при застосуванні сучасного обладнання та засобів управління. Машинобудування забезпечує інтенсифікацію виробництва всіх інших галузей. Для вирішення цього завдання необхідно підвищення якості виготовлення засобів оснащення, а саме технологічної оснастки. Плановані виробничі процеси повинні сприяти випуску виробів високої якості при оптимальних наведених витратах.

В Україні в останній час спостерігається тенденція до погіршення якості виробів та втрачено досвід виробництва довговічних деталей та вузлів. Насамперед це зумовлено з достатньо високими вимогами до виробів, погіршення якості матеріалів. Останнє відтвержує той факт, що дуже необхідно перевіряти матеріали на тертя і довговіність. Радянські машини застарілі, не мають достатньої автоматизації, складні в обслуговуванні та експлуатації. Сучасні закордонні машини дорогі, потребують сервісного обслуговування фірми-виробника, а це не дає змоги вдосконалювати та ремонтувати своїми силами.

Українські підприємства повинні мати змогу самі перевіряти якість матеріалів, із яких вони виробляють корисну продукцію, розробляти вітчизняні матеріали. Від якості підбору матеріалів залежить кінцевий результат.

Тому українські підприємства повинні отримати доступну, якісну, дешеву, не потребує високої кваліфікації від працівника установку для вимірювання динамічного коефіцієнта тертя. Це дозволить підняти українські

підприємства на новий рівень, отримувати замовлення від іноземних компаній, більш активно працювати в області кораблебудування, ракетно-космічної та авіаційної техніки.

Науковою новизною є можливість визначення динамічного коефіцієнту зовнішнього тертя зразків в одному досліді, без вимірювання сил тертя, на підставі їх взаємозв'язку з геометричними параметрами процесу і рівності роботи, яку здійснюють зразки внаслідок зміни вертикального положення при зісковзування.

Практична цінність отримати установку, яка дозволяє значно скоротити час проведення експерименту, а також здешевити собівартість. полягає в отримання дешевої установки, простої у виготовленні та експлуатації; із застосуванням сучасних методів виробництва, застосування нових екологічних матеріалів, яка, у той час, зможе відповідати усім вимогам на сучасному виробництві (точне вимірювання, простота налаштування, застосування сучасних комп'ютерних технології та застосування взаємозамінних деталей та вузлів).

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

7. провести літературний огляд установок та методик досліджень коефіцієнту тертя за умов динамічного контактного навантаження, які використовуються на практиці,

8. зробити їх аналіз та розробити конструкцію нової установки розрахувати деталі та вузли на міцність

9. розробити 3-D модель установки та створити кресленики та специфікації на весь виріб.

10. розробити методологію досліджень коефіцієнту тертя з використанням спроектованої установки та на обробку отриманих результатів.

11. розробити патент на корисну модель «Пристрій для дослідження тертя в умовах динамічного контактного навантаження».

12. розробити правила для безпечної експлуатації установки для дослідження тертя в умовах динамічного контактного навантаження.

1 АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ В ОБЛАСТІ СПОСОБІВ І ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ТЕРТЯ ПРИ ДИНАМІЧНОМУ КОНТАКТНОМУ НАВАНТАЖЕННІ

1.1 Загальні поняття та визначення. Статичний та динамічний коефіцієнт тертя. Приклади механізмів, де можуть застосовуватися ці характеристики.

Основною характеристикою тертя двох взаємодіюючих тел є коефіцієнт тертя f [2].

$$f = F/P \quad (1.1)$$

Де F — сила опору переміщенню, а P — сила, що стискає тіла в перпендикулярному у поверхні тертя напрямку.

Відповідно до цієї формули сила тертя F дорівнює навантаженні P . Цей закон відкрив Л. Да Вінчі у 1490 р і його пізніше підтвердив Амонтон в 1700 р

Краще узгоджується з дійсністю закон сухого тертя, який відкрив Кулон [2]:

$$F = fP + A, \text{ Н} \quad (1.2)$$

Де A — складова сили тертя, яка пропорційна поверхні зіткнення і залежить від сили зв'язків, що виникає між поверхнями, що труться. Дерягіним був запропонований закон тертя [2]

$$F = fP + pS_f \text{ Н}, \quad (1.3)$$

Де, p — питома сила прилипання, яка припадає на площу фактичного контакту, S_f — фактична або справжня площа контакту.

Практичне застосування формул Кулона і Дерягіна ускладнено, так як даних (A і S_f) для визначення величини немає. Тому інженери використовують формулу:

$$F = fp, \text{ Н} \quad (1.4)$$

І називають цю залежність законом Кулона—Амонтона.

Коефіцієнт тертя — це величина, що характеризує силу опору від тертя між взаємодіючими тілами і зазвичай позначається μ , k або f . Залежно від виду тертя відрізняють і відповідний коефіцієнт тертя [2].

Коефіцієнт тертя — характеристика, яка застосовується при виконанні технічних розрахунків, що характеризують фрикційні взаємодії двох тіл. Залежно від виду переміщення одного тіла по—іншому розрізняють: коефіцієнт тертя при зсуві — ковзання і коефіцієнт тертя при коченні. У свою чергу, при ковзанні в залежності від величини тангенціальної сили розрізняють коефіцієнт неповного тертя ковзання, коефіцієнт тертя спокою і коефіцієнт тертя ковзання. Всі ці коефіцієнти тертя можуть змінюватися в широких межах залежно від шорсткості і хвилястості поверхонь, характеру плівок, що покривають поверхні.

Коефіцієнт тертя ковзання — відношення сили тертя ковзання F_t до нормальної сили N , притискає тіла один до одного [2].

Під поверхнею тертя розуміють номінальну поверхню твердого тіла, на якій здійснюється взаємодія твердих тіл при зовнішньому терті. Визначення сил і коефіцієнтів тертя має великий практичний і теоретичний інтерес. Відомо, наприклад, що значення коефіцієнта тертя зі збільшенням гладкості поверхні зменшується, але при дуже високого ступеня гладкості починає різко зростати. Зі збільшенням гладкості зменшується значення когезійного компонента (когезія — зчеплення молекул (атомів, іонів) у фізичному тілі. Це обумовлено міжмолекулярним взаємодією і (або) хімічним зв'язком), так як зменшується кількість нерівностей, які деформуються або зрізаються, але поступово починають рости фактична площа контакту і коефіцієнт тертя [2].

Тертя кочення — опір руху, що виникає під час перекочування тіл одне за одним тобто опір коченню одного тіла (катка) по поверхні іншого. Причина тертя кочення — деформація катка і опорної поверхні, а також сили адгезії. Контактна напруга в плямі призводить до пружного і/або пластичного деформації тіл, що тягне мікропроскальзівання поверхонь, пластичне протягом в плямі контакту і в'язкопружних гистерезис. Як і адгезивні

взаємодія, всі ці процеси термодинамічно незворотні і ведуть до втрати енергії, тобто викликають опір коченню. При цьому зазвичай передбачається, що котиться тіло (колесо) не провадить тягову або гальмівну функцію (наприклад, колесо локомотива, що розганяє склад або загальмований колесо вагона), так як при цьому виникають додаткові втрати на тертя в зоні контакту, викликані не тільки нормальним контактним напруженням, а ще й дотичним, тобто під тертям кочення розуміється чисте тертя кочення [3].

Виявляється, наприклад, між елементами підшипників кочення, між автомобільної шиною колеса автомобіля і дорожнім полотном. У більшості випадків величина тертя кочення набагато менше величини тертя ковзання при інших рівних умовах, і тому кочення є поширеним видом руху в техніці. Тертя кочення виникає на межі двох тіл, і тому воно класифікується як вид зовнішнього тертя.

Тертя кочення грає величезну роль в сучасній техніці. Воно виникає при обертанні коліс і інших деталей, що обертаються, які є майже у всіх верстатах і транспортних машинах. Заміна тертя ковзання на тертя кочення шляхом винаходу колеса було найбільшою подією в історії цивілізації

Нехай на тіло обертання, що розташоване на опорі, діють

P — зовнішня сила, яка намагається привести тіло в стан кочення або підтримуюча кочення і спрямована уздовж опори;

N — притискає сила;

R_p — реакція опори.

Якщо векторна сума цих сил дорівнює нулю

$$\vec{N} + \vec{P} + \vec{R}_p = 0, N \quad (1.5)$$

то вісь симетрії тіла рухається рівномірно і прямолінійно або залишається нерухомою. Вектор визначає силу тертя кочення, протидіє руху. Це означає, що притискає сила врівноважується вертикальної складової реакції опори, а зовнішня сила врівноважується горизонтальної складової реакції опори [2].

Рівномірний кочення означає також, що сума моментів сил відносно довільної точки дорівнює нулю. З рівноваги щодо осі обертання моментів сил, зображених на рис. 2 і 3, слідує:

$$F_t \cdot R = N \cdot f, \text{ Н} \quad (1.6)$$

Звідки

$$F_t = \frac{f}{R} \cdot N, \text{ Н} \quad (1.7)$$

де: F_t — сила тертя ковзання;

f — коефіцієнт тертя кочення, що має розмірність довжини (слід зазначити важлива відмінність від коефіцієнта тертя ковзання, який безрозмірний);

R — радіус котиться тіла;

N — притискає сила.

Ця залежність підтверджується експериментально. Для малій швидкості кочення сила тертя кочення не залежить від величини цієї швидкості. Коли швидкість кочення досягає значень, порівнянних зі значеннями швидкості деформації в матеріалі опори, тертя кочення різко зростає і навіть може перевищити тертя ковзання при аналогічних умовах[2].

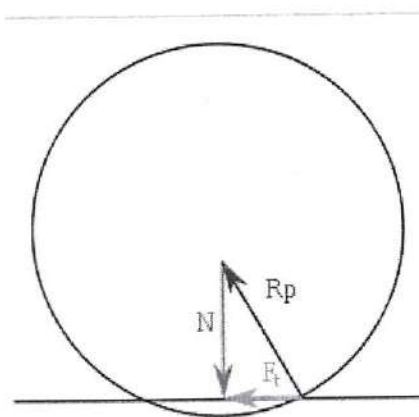


Рисунок 1.1 — Реакція опори, N — притискає сила, зовнішня сила (прикладена до центру тіла і спрямована вправо, на малюнку не показана); сума векторів сил[3]

Момент сили тертя кочення

Визначимо для рухомого циліндра момент, що гальмує обертальний рух тіла. Розглядаючи даний момент щодо осі обертового колеса (наприклад, колеса автомобіля), знаходимо, що він дорівнює добутку гальмівного зусилля на осі на радіус колеса. Щодо точки контакту рухомого тіла з землею момент буде дорівнює добутку зовнішньої сили, що врівноважує силу тертя, на радіус колеса (рис. 1.2):

$$M_t = F_t R = PR, \text{ Нм} \quad (1.8)$$

З іншого боку, момент тертя дорівнює моменту притискної на плече, довжина якого дорівнює коефіцієнту тертя кочення f :

$$M_t = F_t N \text{ Нм} \quad (1.9)$$

де, M_t — момент сили тертя в [Нм];

R — радіус тіла кочення;

P — зовнішня сила

F_t — сила тертя кочення

f — коефіцієнт трення качення в [м].

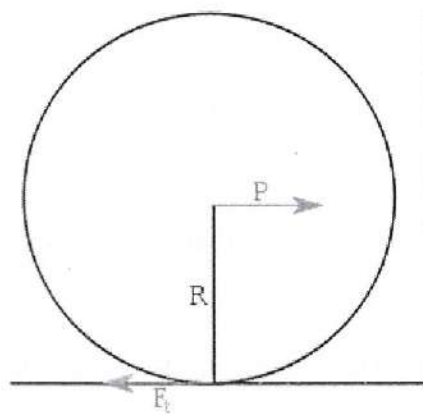


Рисунок 1.2 — R — радіус тіла кочення; P — зовнішня сила, — сила тертя кочення

Що таке статичне тертя? Сила, яку потрібно подолати, щоб змусити щось рухатися, називається статичним тертям. Це сила, яка перешкоджає ковзанню об'єкта, розташованого на похилій поверхні.

На твердих поверхнях статичну тертя виникає внаслідок шорсткості поверхні контактних об'єктів. Його значення залежить від типу контактуючих поверхонь. Він вище для грубих і сухих поверхонь і нижче для вологих і гладких[2].

Сила, необхідна для спонукання руху (т. Е Подолання статичного тертя), більша за ту, яка необхідна для продовження руху (т. Е Подолання кінетичного тертя). Таким чином, коефіцієнт статичного тертя (μ_s) перевищує коефіцієнт кінетичного тертя (μ_k).

Коефіцієнт статичного тертя має постійне значення для кожної пари контактуючих поверхонь (матеріалів). Наприклад, це 0,74 для контакту сталь / сталь, 0,61 для контакту сталь / алюміній і т. Д. [3]

Щоб рух нерухомого об'єкта, ми повинні подолати силу статичного тертя прикладеною силою. Коли до нерухомого об'єкту прикладена невелика сила, статична тертя має однакову величину, але в протилежному напрямку до доданої сили. Коли сила збільшується, в певній точці вона досягає максимального значення статичного тертя. У цей момент статичну тертя долається, і об'єкт починає рухатися.

Максимальна статичний тертя ($f_s \max$) дорівнює:

$$f_{s\max} = \mu_s n,$$

де μ_s — коефіцієнт статичного тертя, n — розмір нормальної сили контакту між поверхнями.

Різниця між кінетичним і статичним тертям

1) Визначення кінетичного і статичного тертя

Kinetic Friction: затримують сила між двома знаходяться в контактні контактами, які рухаються один проти одного, називається кінетичним тертям.

статичний Friction: Сила, яку потрібно подолати, щоб змусити щось рухатися, називається статичним тертям.

2) Формула для кінетичного і статичного тертя

Кінетичне тертя: Кінетичне тертя (f_k) одно $f_k = \mu_k n$, де μ_k — коефіцієнт кінетичного тертя, n — розмір нормальної сили контакту між поверхнями.

Статична тертя: Максимальна статичний тертя ($f_s \max$) дорівнює $f_s \max = \mu_s n$, де μ_s — коефіцієнт статичного тертя, n — розмір нормальної сили контакту між поверхнями. [4]

3) Величина кінетичного і статичного тертя

Kinetic Friction: Сила, необхідна для індукції руху, завжди більша за ту, яка необхідна для продовження руху. Таким чином, коефіцієнт кінетичного тертя менше статичного тертя.

Резюме кінетичного і статичного тертя:

Тангенціальна складова сили взаємодії між двома поверхнями в контактї називається тертям. Це призводить до опору руху між поверхнями і може викликати механічну деформацію і нагрівання.

Затримує сила між двома об'єктами, які рухаються один проти одного, називається кінетичним тертям. Сила, яку потрібно подолати, щоб змусити щось рухатися, називається статичним тертям.

Тертя напряму залежить від контактуючих поверхонь. Він високий для грубих та сухих поверхонь, і низький для Гладких і вологих.

Сила, необхідна для спонукання руху (т. Е Подолання статичного тертя), більша за ту, яка необхідна для продовження руху (т. Е Подолання кінетичного тертя). Таким чином, коефіцієнт статичного тертя (μ_s) перевищує коефіцієнт кінетичного тертя (μ_k).

Кінетичне тертя (f_k) одно $f_k = \mu_k n$, де μ_k — коефіцієнт кінетичного тертя, n — розмір нормальної контактної сили між контактними поверхнями. Максимальна статичний тертя ($f_s \max$) дорівнює $f_s \max = \mu_s n$, де μ_s — коефіцієнт статичного тертя, а n — розмір нормальної сили контакту між контактними поверхнями. [5]

При вирішенні ряду технологічних проблем обробки металів тиском (кування, штампування, безперервна прокатка), а також при аналізі ударного взаємодії твердих тіл, що деформуються важливе значення має знання сил тертя. У зв'язку з цим визначення динамічного коефіцієнта тертя є важливою науково—технічною задачею. В останні роки намітився певний прогрес в

розробці методик, що дозволяють визначати динамічний коефіцієнт тертя [5]. Однак в цих роботах пропоновані експериментальні схеми його визначення досить складні і вимагають залучення аналітичних або чисельних методів.

1.2 Методи та установки для визначення динамічного коефіцієнта тертя.

1.2.1 Модифікований метод визначення динамічного коефіцієнта тертя на основі модифікованої схеми методу Кольського з використанням системи розрізного стрижня Гопкинсона (РСГ), запропоновану Ліндхольмом.

Основна різниця від методу Кольського полягає у тому, що замість опорного стержня використовується мірна трубка. У цьому способі спочатку здійснюється посадка (одягання) з натягом δ полого циліндра на суцільний (або порожнистий) циліндр

Посадка може бути реалізована механічною запресовкою або за допомогою термічної посадки. При посадці з гарантованим натягом, що представляє собою різницю між зовнішнім діаметром внутрішнього циліндра і внутрішнім діаметром зовнішнього циліндра (негативний зазор), на поверхні контакту виникає статична внутрішній тиск p , яке пов'язане з відомим натягом δ залежністю [5]

$$p = \frac{\delta}{\left(\frac{c_1}{E_1} + \frac{c_2}{E_2}\right)d}, \text{ Мпа} \quad (1.10)$$

Тут E_1 і E_2 — модулі пружності внутрішнього і зовнішнього циліндрів відповідно; μ_1 і μ_2 — значення коефіцієнтів Пуассона, d_1 — внутрішній діаметр сердечника, d — діаметр поверхні сполучення, d_2 — зовнішній діаметр зовнішнього циліндра. В роботі внутрішній циліндр був суцільним, т. е. $D_1 = 0$. У цьому випадку формула для розрахунку p спрощується. Після посадки циліндрів збірка розміщується в системі розрізного стрижня Гопкинсон. Для збереження постійної довжини поверхні контакту при

навантажени збірки внутрішній циліндр має меншу довжину, ніж зовнішній. Імпульси стиснення збуджуються в навантажувальному стрижні ударом бойка, розігнаного стисненим повітрям в трубі газової гармати. Імпульс від стиснення, поширюється, навантажує стрижень і досягає збірки. Частина імпульсу відбивається назад в стрижень, інша частина передається в опорну мірну трубку, при цьому внутрішній циліндр збірки зміщується (видавлюється) щодо зовнішнього. Реєстрація імпульсів здійснюється тензодатчиками. За зареєстрованому імпульсу в опорній мірній трубці визначається осьове зусилля F , що діє на випробовувану збірку, розташовану в системі, $F(t) = E A b \epsilon(t)$, [9]

де E і $A b$ — відповідно модуль пружності і площа поперечного перерізу мірної трубки, $\epsilon(t)$ — минулий імпульс деформації. Реєстрація відбитого від збірки імпульсу дає можливість визначити відносне зміщення циліндрів. Таким чином, динамічний коефіцієнт тертя f може бути обчислений [6]:

$$f = \frac{F_{max}}{p \pi d l} \quad (1.11)$$

де F_{max} — максимальне зусилля страгивання,

p — тиск на контактній поверхні,

d — діаметр поверхні сполучення циліндрів,

l — її довжина.

Зазначена формула дозволяє визначити, як величину коефіцієнта тертя спокою (за величиною першого максимуму сил), так і тертя ковзання. Тестування методики проводилося на зразках—збірках, внутрішній стрижень яких був виготовлений з титану, а зовнішній — з алюмінієвого сплаву. Діаметр контактної поверхні дорівнював 14 mm. Величина натягу в експериментах складала 0.020—0.025 mm. Пружні постійні, які входять у розрахунок коефіцієнта тертя, склали: для титану $E_1 = 123000$ МПа, $\mu_1 = 0.34$, для алюмінієвого сплаву $E_2 = 71000$ МПа, $\mu_2 = 0.33$. При таких умовах попереднє статичний тиск на контактній поверхні за рахунок натягу дорівнювало 27.7—35.4 МПа. Була проведена серія з п'яти експериментів при близьких умовах, за результатами яких побудована середня крива зміни зусилля видавлювання,

визначені стандартні відхилення і довірчий інтервал при величині відносної похибки 5%. Слід зазначити "коливальний" характер зміни зусиль видавлювання в часі. Це факт свідчить про стрибкоподібному русі пов'язаних циліндрів в часі. Подібний ефект зазвичай спостерігається і при статичних випробуваннях. У розрахунках коефіцієнта тертя спокою брався перший максимум на профілі сили (F_1), а для розрахунку коефіцієнта тертя ковзання експертно обиралася деяка середня величина зусиль (F_2) в проміжку часу 30—60 μ s. Для більш точного визначення цієї величини необхідно збільшити тривалість навантажує імпульсу, що легко здійснити за рахунок збільшення довжини ударника. На підставі отриманих результатів були визначені середні значення динамічних коефіцієнтів тертя спокою і тертя ковзання пар "титан—алюміній", які склали 0,43 і 0,20 відповідно. [9]

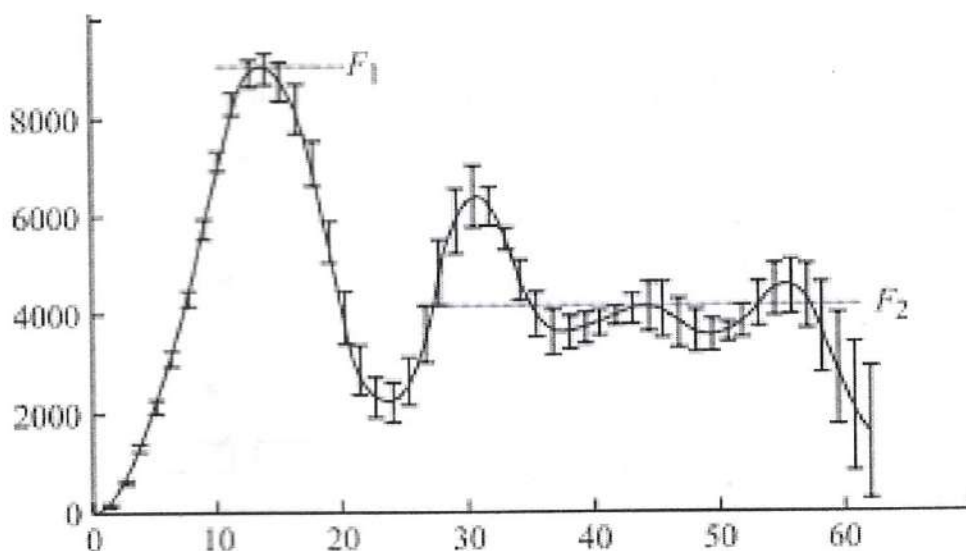


Рисунок 1.3 – Графік зміни зусиль видавлювання [9].

1.2.2 Експерименти з використанням косою зіткнення пластин (запропонована В. Пракашем) при швидкостях удару до декількох сотень метрів в секунду з реєстрацією параметрів ударно—хвильового навантаження за допомогою лазерного інтерферометра VISAR.

Сам експеримент косим зіткненням пластини під тиском запроваджено для дослідження тертя (за певний проміжок часу) на поверхнях розділу, з

високою швидкістю ковзання при відносно високих нормальних тисках. Умови ковзання на межі розділу змінюються шляхом зміни шорсткості поверхні пластин, що вдаряються, і зміною напрямку прикладеного навантаження. Конфігурація забезпечує простоту інтерпретації експериментальних даних за допомогою системи аналізу одновимірних плоских хвиль. Досліджені в цьому дослідженні пари поверхневих матеріалів складаються із зносостійкого карбіду вольфраму та сталі AISI 4340 або сплаву Ti-6Al-4V.

Висновки: коефіцієнт тертя зростає зі збільшенням шорсткості поверхні пластин карбіду вольфраму та кумулятивним ковзанням на межі розділу [11].

1.2.3 Використання модифікацій розрізного стрижня в установці Гопкінсона-Кольського (РСГ).

Ця методика передбачає додаток осьової динамічної сили до повертається системі «зразок — стрижень» і поки знаходиться на ранній стадії розвитку. Типові швидкості відносного руху контактуючих поверхонь, що реалізуються в даному типі експерименту, складають 1–5 м/с [12].

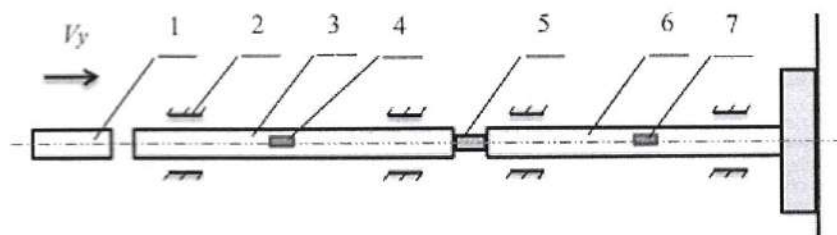


Рисунок 1.4 – Установка Гопкінсона-Кольського. 1 – ударник, 2 – підшипник, 3 та 6 – стержні, 4 та 7 – тензодатчики, 5 – зразок. [12]

Для оцінки основних ефектів, що виникають в процесі навантаження запропонованої експериментальної схеми і здатних вплинути на одержуваний результат, проведено чисельний аналіз. Моделювання проводилося в плоскій осесиметричною постановці в два етапи: на першому етапі визначалися статичні поля напруги і деформацій в зразку з посадкою, а на другому — вирішувалася динамічна задача, відповідна натурному випробуванню в системі РСГ. Для визначення ПДВ зразка його геометрія будувалася з

початковим негативним зазором δ , відповідним величині натягу. На кордоні «сердечник — обойма» задавався симетричний контакт «вузол в поверхню». В ході ітераційної процедури, при якій величина зазору δ зводилася до нуля, визначалося ПДВ зразка. Оскільки напруги в зразку істотно нижче межі текучості матеріалів складових його частин, завдання вирішувалося в пружною постановці. Отримані на даному етапі компоненти тензора напружень для кожного елемента моделі, а також деформована конфігурація збірки зберігалися в файл для подальшого динамічного розрахунку переднапруженого зразка. Розрахункова схема в другій частині завдання показана на рис. 5. У розрахунку на торці навантажує стрижня задавався імпульс навантаження, відповідний експериментальному. Умовним датчиком на опорній трубці вимірювалося зусилля «випрессовки».

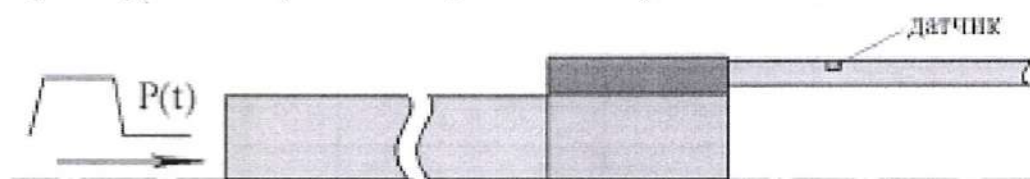


Рисунок 1.5. — Розрахункова схема «випрессовки» зразка в системі РСГ [13]

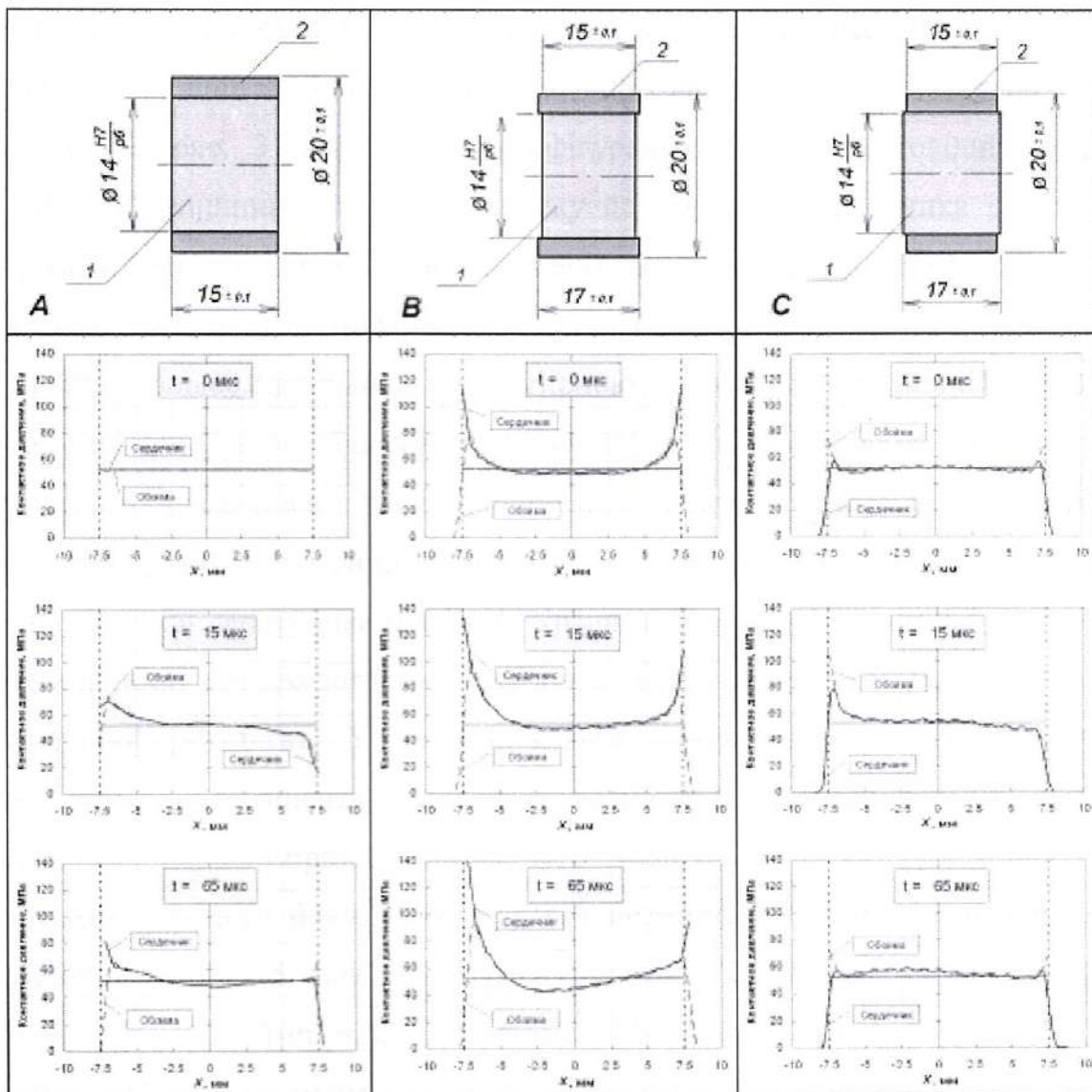


Рисунок 1.6. — Варіанти конфігурації зразків і еволюція посадкового тиску в процесі динамічної «випресовки» (пара T_i-T_i) [14]

Так як в процесі «випресовки» площа поверхні контакту сердечника і обойми зменшується, відповідно змінюється і зусилля F на контактній поверхні. Це повинно бути враховано при розрахунку коефіцієнта тертя. Однак якщо компоненти збірки будуть мати різну довжину, зміни зусилля F можна уникнути. У зв'язку з цим розглянуті три конфігурації збірок з різним співвідношенням довжин сердечника 1 і обойми 2 (рис. 6): з рівними довжинами елементів (А), коли довжина сердечника менше (В) або більше (С) довжини обойми. В ході динамічного навантаження збірки за рахунок коефіцієнта Пуассона в осерді з'являються радіальні напруги, що змінюють

величину статичного натягу. Моделювання процесу «випресовки» дозволило оцінити величини цих додаткових радіальних напружень для зазначених змін збірок. На рис. 3 для кожної конфігурації показані відповідні профілі розподілу величини посадкового тиску по поверхні сердечника і обойми, отримані в розрахунку для пари титан — титан в різні моменти часу (вказані на кожному малюнку). Суцільною лінією показано розподіл контактного тиску по котра утворює сердечника, а пунктирною лінією — на внутрішній поверхні обойми. Горизонтальної переривчастою лінією показана аналітична величина статичного посадкового тиску. Добре видно, що з точки зору збереження незмінної величини сили тиску на контактній поверхні в процесі «випресовки» сердечника найменш краща схема А, а в плані забезпечення рівномірності посадкового тиску на контактній поверхні конфігурація В дає найгірший результат. У зв'язку з цим оптимальної для дослідження динамічного коефіцієнта тертя слід визнати конфігурацію С, в якій є мінімальна нерівномірність контактного тиску по котра утворює контактної поверхні, з одного боку, і зберігається незмінною площа цієї поверхні, з іншого. На рис. 5 показано, як змінюється нормальна сила взаємодії сердечника і обойми при видавлюванні з плином часу. Видно, що пік контактної сили має місце на етапі страгивання сердечника, а на етапі сталого руху внутрішньої частини збірки сила має практично постійну величину. На рис. 6 показано порівняння імпульсів деформації в мірних стрижнях: визначених у процесі експерименту (маркери) і в результаті комп'ютерного моделювання динамічної «випресовки» (суцільна і пунктирна лінії). У розрахунку між сердечником і обоймою задавалися різні коефіцієнти тертя, певні з експерименту: 1 — коефіцієнт тертя = 0.25 (коефіцієнт страгивання), 2 — коефіцієнт тертя = 0.227 (тертя ковзання)[14]

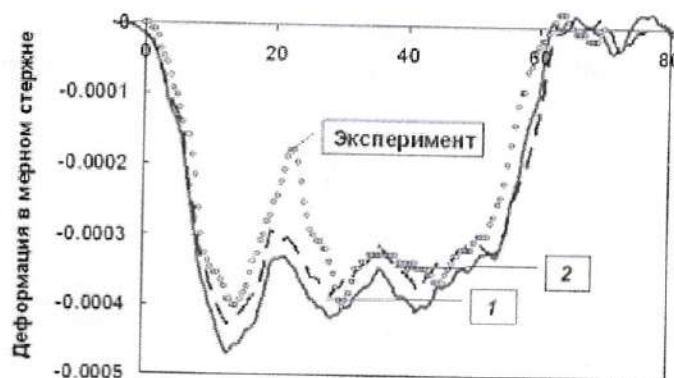


Рисунок 1.7 — Імпульси деформації в мірній стрижні [14].

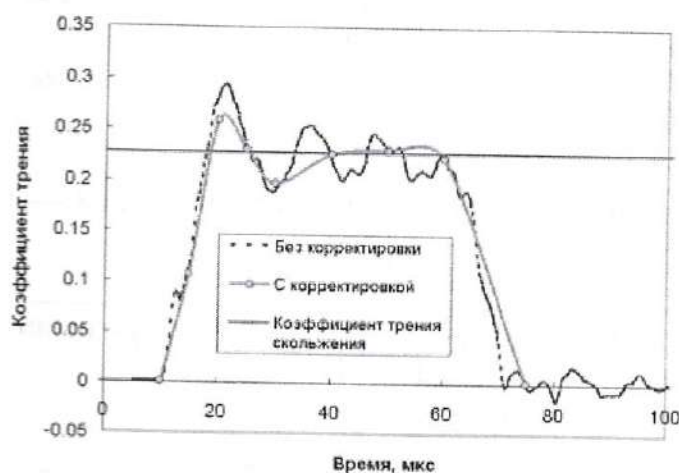


Рисунок 1.8 — Зміна коефіцієнта тертя в процесі «випресовки» [14]

На рис. 8 представлені криві зміни коефіцієнта тертя:

— горизонтальна лінія — величина коефіцієнта тертя, закладена в розрахунок;

— пунктирна лінія — коефіцієнт, визначений за імпульсу деформації в опорній мірній трубці в припущенні сталості контактної сили;

— лінія з маркерами — коефіцієнт тертя, визначений з урахуванням зміни сили посадкового тиску внаслідок ударного распора.

За результатами моделювання можна зробити висновок про те, що на етапі сталого руху сердечника в обоймі при невеликих його переміщеннях дана експериментальна схема дозволяє адекватно визначити коефіцієнт тертя ковзання, в той час як для визначення коефіцієнта тертя спокою (страгивання) необхідна розрахункова корекція вимірюваного в опорній трубці зусилля.

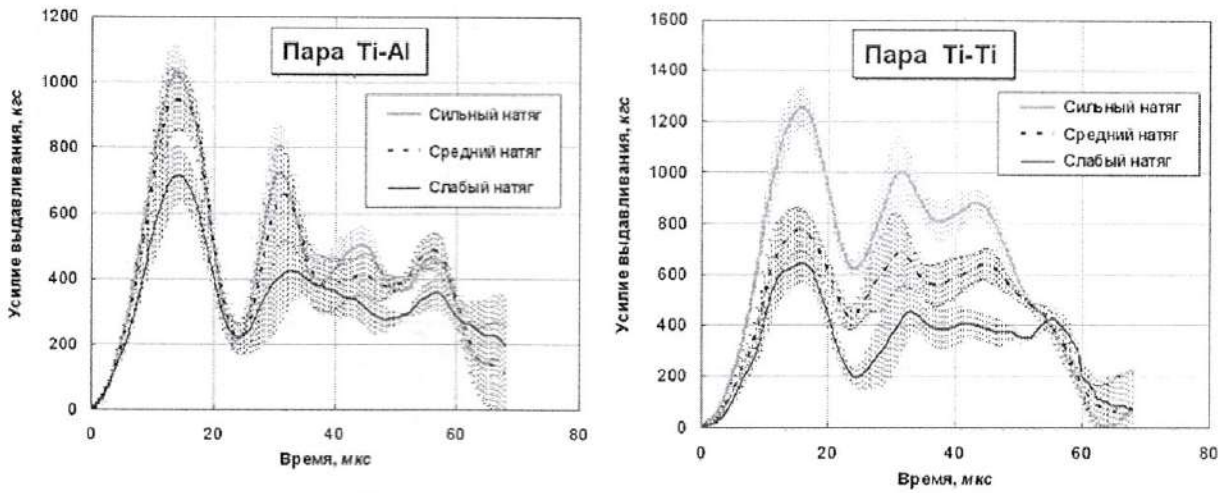


Рисунок 1.9 — Зміна зусилля видавлювання сердечників з збірок Ti—Al і Ti—Ti [14]

Таблиця 1.1 — Коефіцієнти тертя спокою і ковзання для найбільш поширених матеріалів. [15]

Комбінація матеріалів		Коефіцієнт тертя	
		Сухі поверхні	змащені
Алмаз	Алмаз	0,1	0,05 — 0,1
Алмаз	Металл	0,1 — 0,15	0,1
Алюміній	Алюміній	1,05 — 1,35	0,3
Алюміній	Низкоуглеродистая (малоуглеродистая) сталь	0,61, 0,47	—
Бронза	Чавун	0,15—0,20	0,07—0,15
Бронза	Бронза	0,20	0,1, 0,07—0,10
Спеченна бронза	Сталь	—	0,13
Графіт	Сталь	0,1	0,1
Графіт	Графіт (у вакууме)	0,5 — 0,8	—
Графіт	Графіт	0,1	0,1
Дуб	Дуб (вдоль волокон)	0,62, 0,48	—
Дуб	Дуб (поперек волокон)	0,54, 0,32	0,072
Дерево	Чистое сухое дерево	0,25 — 0,5	—
Дерево	Влажное дерево	0,2	—
Дерево	Чистый сухой металл	0,2 — 0,6	—

Дерево	Влажные металлы	0,2	—
Дерево	Бетон	0,62	0,50
Дерево	Кирпич	0,6	—
Дерево	Вологий снег	0,14, 0,1	—
Дерево — вощенное	Сухий сніг	0,04	—
Дерево	Метал	0,5— 0,6, 0,3—0,6	0,1—0,2, 0,1— 0,2
Залізо	Залізо	1,0	0,15 — 0,20
Латунь	Сталь	0,35	0,19
Латунь	Чавун	0,3	—
Кадмій	Кадмій	0,5	0,05
Кадмій	Хром	0,41	0,34
Кадмій	Низкоуглеродистая (малоуглеродистая) сталь	0,46	—
Карбід вольфрама	Сталь	0,4—0,6	0,1 — 0,2
Карбід вольфрама	Карбид вольфрама	0,2 — 0,25	0,12
Карбід вольфрама	Мідь	0,35	—
Карбід вольфрама	Залізо	0,8	—
Кирпич	Дерево	0,6	—
Шкіра	Дуб	0,61, 0,52	—
Шкіра	Металл	0,4	0,2
Шкіра	Дерево	0,3 — 0,4	—
Шкіра	Чистый металл	0,6	—
Магний	Магний	0,6	0,08
Свинцовистая Мідь	Сталь	0,22	—
Мідь	Мідь	1	0,08
Мідь	Чавун	1,05, 0,29	—
Мідь	Низьковуглецева сталь	0,53, 0,36	0,18
Никель	Нікель	0,7 — 1,1, 0,53	0,28, 0,12
Никель	Низьковуглецева сталь	0,64	0,18
Нейлон	Нейлон	0,15 — 0,25	—
Олово	Чавун	0,32	—
Платина	Платина	1,2	0,25

Плексиглас, оргСкло	Плексиглас, оргСкло	0,8	0,8
Плексиглас, оргСкло	Сталь	0,4—0,5	0,4 — 0,5
Полістирол	Полістирол	0,5	0,5
Полістирол	Сталь	0,3—0,35	0,3 — 0,35
Поліетилен	Сталь	0,2	0,2
Полістирол	Полістирол	0,5	0,5
Резина	Чавун	0,8	0,5
Резина	Сухий асфальт	0,50 — 0,8	—
Резина	Вологий асфальт	0,25 — 0,75	—
Резина	Сухий бетон	0,6 — 0,85	—
Резина	Вологий бетон	0,45 — 0,75	—
Свинец	Чавун	0,43	—
Срібло	Серебро	1,4	0,55
Сапфір	Сапфир	0,2	0,2
Сталь	Сталь	0,16, 0,1— 0,12	0,10— 0,12, 0,05—0,1
Сталь	Чавун	0,30, 0,18	—, 0,05—0,15
Сталь	Бетон	0,45	0,35
Сталь	Бронза	0,12, 0,1	0,08— 0,16, 0,07—0,1
Сталь	Алюмінієвая бронза	0,45	—
Сталь	Фосфориста бронза	0,35	—
Сталь	Текстолит	—	0,02—0,06
Скло	Скло	0,9 — 1,0, 0,4	0,1 — 0,6, 0,09 — 0,12
Скло	Метал	0,5 — 0,7	0,2 — 0,3
Скло	Нікель	0,78	0,56
Тормозні колодки	Чавун	0,4	—
Тормозні колодки	Вологий Чавун	0,2	—
Тверде вуглецеве покриття (плівка)	Тверде вуглецеве покриття (плівка)	0,16	0,12 — 0,14
Твердое углеродное покрытие (пленка)	Сталь	0,14	0,11 — 0,14

Ф—4, ПТФЭ, РТФЕ, Teflon	Ф—4, ПТФЭ, РТФЕ, Teflon	0,04	0,04, 0,04
Ф—4, ПТФЭ, РТФЕ, Teflon	Сталь	0,04	0,04
Ф—4, ПТФЭ, РТФЕ, Teflon	Ф—4, ПТФЭ, РТФЕ, Teflon	0,04	0,04
Хром	Хром	0,41	0,34
Чавун	Чавун	1,1, 0,15	0,07
Чавун	Дуб	0,49	0,075
Чавун	Низкоуглеродистая (малоуглеродистая) сталь	0,4, 0,23	0,21, 0,113
Цинк	Чавун	0,85, 0,21	—
Цинк	Цинк	0,6	0,04
Кирпичная кладка	Бетон	0,70	0,60
Кирпичная кладка, бетон	Пісок, гравій	0,60	0,50
Кирпичная кладка, бетон	Суглинок	0,55	0,40
Кирпичная кладка, бетон	Глина	0,50	0,30

1.2.4 Установка для визначення сили тертя системи Хонда-Ямада.

В установці Хонда-Ямада застосовується пружний динамометр. На рис. 1.10 показана схема цієї установки. Випробовуваний циліндричний зразок 2 притискається вантажем 3 до обертаючогося диска 1. Зі зразком жорстко з'єднаний візок 4, котра переміщується на роликах по прямолінійній траєкторії на столі 5, який зв'язаний зі станиною. Переміщення візка передається на пружинний динамометр 6, зв'язаний із візком тросом, перекинутий через ролик. Сила тертя реєструється на барабані 7, котрий обертається від часового механізму. [16].

Недоліком цієї схеми є невдале рішення передачі сили тертя до динамометра через прямолінійний рухомий візок. Під дією сили тертя зразок зразок, переміщуючись буде намагатись змістити візок в сторону від

направляючих пазів. При слабкій пружині, динамометра візок буде здвинутий, при сильній – запис сили тертя буде виконаний в дрібному масштабі. [16].

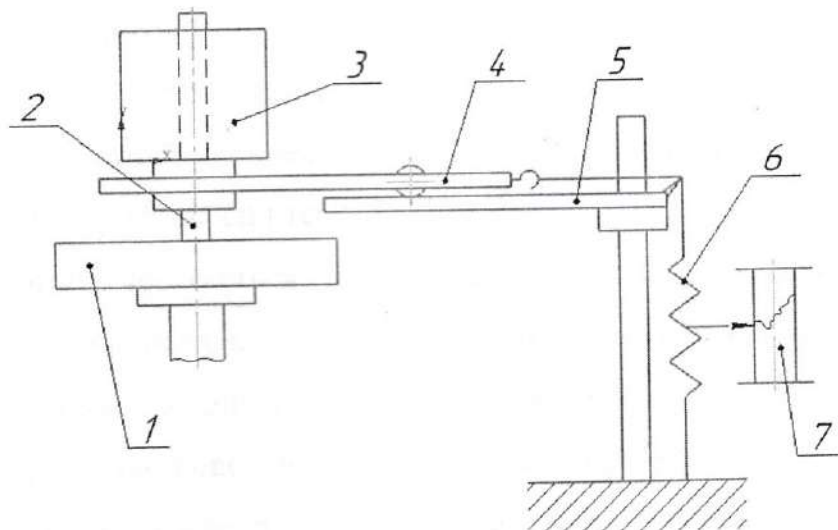


Рисунок 1.10. – Схема вимірювання тертя в установці Хонда-Ямада [16].

1.2.5 Спосіб визначення статичного і динамічного коефіцієнтів зовнішнього тертя.

Для визначення статичного і динамічного коефіцієнтів зовнішнього тертя використовують два зразка: базовий і рухливий. Базовий зразок виконують з увігнутою сферичною або циліндричною робочою поверхнею, що має горизонтальну вісь, і забезпечують можливість його повороту щодо цієї осі. Рухомий зразок виконують з плоскою або випуклою опорною поверхнею з радіусом не менше радіуса робочої поверхні базового зразка, встановлюють його в нижню частину робочої поверхні базового зразка і повертають базовий зразок щодо осі, вимірюючи кут між лінією, що з'єднує центр опорної поверхні рухомого зразка з віссю повороту робочої поверхні і вертикаллю, що проходить через вісь повороту, вимірюють кут φ_1 , при якому рухливий зразок зісковзує, і кут φ_2 , при якому зісковзування закінчується, визначають статичний коефіцієнт зовнішнього тертя і динамічний коефіцієнт зовнішнього тертя

$$m_{\text{дин}} = k \frac{(\cos\varphi_1 - \cos\varphi_2)}{(\sin\varphi_1 - \sin\varphi_2)} \quad (1.12)$$

де k — R — радіус робочої поверхні базового зразка, l — відстань між центром ваги рухомого зразка і робочою поверхнею базового образця. g — прискорення вільного падіння;

Результатом пропонованого способу є можливість визначення динамічного і статичного коефіцієнтів зовнішнього тертя зразків в одному досвіді, без вимірювання сил тертя [17].

Результат досягається за допомогою того, що для визначення статичного і динамічного коефіцієнтів зовнішнього тертя використовують два розташованих один на одному зразку, один з яких, базовий зразок, виконують з увігнутою робочою поверхнею сферичної або циліндричної форми, що має горизонтальну вісь, і забезпечують можливість його повороту щодо цієї осі. Опорну поверхню другого, рухомого зразка, виконують плоскою або випуклою, з радіусом, що не менше радіуса робочої поверхні базового зразка. Рухомий зразок поміщають в нижню частину робочої поверхні базового зразка. Повертаючи базовий зразок відносно горизонтальної осі, вимірюють кут, утворений лінією, що з'єднує центр опорної поверхні рухомого зразка з віссю робочої поверхні базового зразка, і вертикаллю, що проходить через цю вісь. Зі збільшенням кута зростає скочується сила, що діє на рухомий зразок, утримуваний силою тертя. При досягненні деякого значення кута повороту θ під дією скочується сили відбувається зісковзування рухомого зразка в кінцеве положення, що характеризується кутом [17].

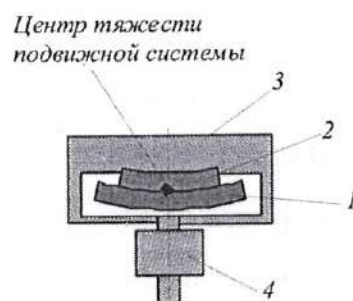


Рисунок 1.11. — Схема роботи пристрою [17].

На Рис 1.11 показана схема способу експериментального визначення динамічного коефіцієнта зовнішнього тертя, де:

1 — базовий зразок; 2 — рухливий зразок; 3 — приставка; 4 — врівноважує вантаж.

Для визначення статичного і динамічного коефіцієнтів зовнішнього тертя використовують базовий зразок 1, виконаний з увігнутою робочою поверхнею сферичної або циліндричної форми, і рухливий зразок 2. Опорною поверхні рухомого зразка 2 також надають відповідно сферичну або циліндричну, але опуклу форму, її радіус приймають не менше радіуса робочої поверхні базового зразка 1, щоб виключити навіть короткочасне рух рухомого зразка 2 за принципом тертя кочення. Як окремий випадок, опорна поверхня рухомого зразка 2 може бути виконана плоскою, радіус якої в такому випадку може розглядатися як нескінченно великий [17].

Ось робочої поверхні базового зразка 1 розташовують горизонтально і забезпечують можливість повороту щодо неї базового зразка 1.

При проведенні досвіду рухливий зразок 2 поміщають в нижню частину робочої поверхні базового зразка 1, де на нього не впливає скочується сила. Для визначення коефіцієнтів тертя базовий зразок 1 разом з рухомим зразком 2 повертають відносно горизонтальної осі O (рис.1.11), вимірюючи мінливий кут між лінією, що проходить через центр опорної поверхні рухомого зразка і вісь повороту робочої поверхні O (рис.1.11), і вертикаллю, що проходить через вісь повороту Про робочої поверхні [17].

Зсув рухомого зразка 2 на кут відповідає розміщенню рухомого зразка 2 на ухилі з таким же кутом, з урахуванням того, що габарити рухомого зразка 2 багаторазово менше розмірів базового зразка 1, ухил на всій опорній поверхні рухомого зразка 2 можна вважати приблизно однаковим, похибка визначення коефіцієнта тертя внаслідок цього практично несуттєва.

Перевагою способу є можливість його реалізації з використанням зразків малих розмірів. Використовувана для реалізації способу оснащення універсальна, з її допомогою може визначатися не тільки динамічний, але і статичний коефіцієнт зовнішнього тертя.

До числа недоліків способу відноситься необхідність використання, принаймні у одного із зразків, досить протяжної і обов'язково криволінійної, з постійним радіусом, робочої поверхні, що ускладнює техніку експерименту, а при наявності тільки плоских зразків виключає можливість його проведення. Крім цього, обраний в якості аналога спосіб має систематичної похибкою, для компенсації якої потрібні додаткові дії по визначенню поправочний коефіцієнт[17].

1.2.6 Спосіб визначення статичного і динамічного коефіцієнтів зовнішнього тертя.

Результатом пропонованого технічного рішення є можливість безперервного і точного визначення динамічного коефіцієнта зовнішнього тертя, а також оцінки його варіації при зміні швидкості відносного переміщення зразків, з виміром тільки геометричних параметрів системи, без визначення сили тертя.

Технічний результат досягається тим, що для визначення динамічного коефіцієнта зовнішнього тертя використовуються два зразка, розташованих один на одному і мають можливість нахилитися щодо горизонту на деякий кут φ , величина якого в ході досвіду залишається незмінною. Нижній зразок приводять в обертання навколо осі, перпендикулярної його плоскою робочої поверхні, а центр опорної поверхні верхнього зразка поєднують з однією з точок на поверхні нижнього, де швидкість останнього спрямована горизонтально, тобто на лінії найбільшого скату, що проходить через вісь обертання. При цьому верхній зразок утримують за допомогою шарнірної зв'язку, що має можливість вільного повороту в площині, паралельній поверхні нижнього зразка. Для додання верхнього зразком необхідного положення регулюють положення точки підвіски шарнірної зв'язку або довжину шарнірної зв'язку. Після досягнення заданого стабільності зразка визначають сталий при цьому кут α між шарнірної зв'язком і проходить через

точку її підвіски горизонталлю, після чого визначають динамічний зовнішній коефіцієнт тертя по формулі [18]:

$$m = \frac{tg\varphi}{tga} \quad (1.13)$$

На рис.1.12 показаний приклад виконання пристрою для реалізації запропонованого способу визначення динамічного коефіцієнта зовнішнього тертя з двома рухомими зразками, на рис.3 показана схема руху зразка і діючих при цьому зусиль в площині обертового зразка, де: 1 — нижній зразок; 2 — верхній зразок; 3 — шарнірна зв'язок; 4 — точка підвіски шарнірної зв'язку[18].

Нижній зразок 1 нахиляють щодо горизонту з деяким кутом φ і приводять в обертання навколо осі, перпендикулярної його плоскою робочою поверхні, в зв'язку з чим переважно виготовлення нижнього зразка 1 в формі диска. На робочу поверхню нижнього зразка 1 встановлюють верхній зразок 2, який утримують від обертання під впливом нижнього зразка 1 за допомогою шарнірної зв'язку 3. Шарнірна зв'язок 3 має можливість вільного повороту щодо точки підвіски 4 в площині, паралельній поверхні нижнього зразка 1. Утримуваний шарнірної зв'язком 3 верхній зразок 2 займає на поверхні обертового нижнього зразка 1 деякий стан, при якому всі діючі на верхній зразок 2 сили врівноважуються. Змінюючи положення точки підвіски 4 або довжину шарнірної зв'язку 3, призводять верхній зразок 2 в таке становище, щоб спрямований через його центр маси вектор сили тяжіння проходив через точку робочої поверхні нижнього зразка 1, в якій вектор лінійної швидкості спрямований горизонтально. Такі точки розташовані на лінії найбільшого скату, що проходить через вісь обертання нижнього зразка 1. У разі правильної форми верхнього зразка ця умова забезпечується при поєднанні з лінією найбільшого скату центру його опорної поверхні. [18]

Визначення динамічного коефіцієнта зовнішнього тертя запропонованим способом полягає в наступному. При досягнутому стабільному положенні верхнього зразка 2 шарнірна зв'язок 3 приймає

положення, яке визначається деяким кутом α відносно горизонталі, що проходить через точку повороту шарнірної зв'язки 4. Умовою стабільності верхнього зразка 2 є рівновага діючих на нього сил. У площині, перпендикулярній вектору лінійної швидкості (рис.1.12), сила тяжіння G зразка 2 може бути представлена, як геометрична сума двох сил: сили нормального тиску G_N зразка 2 на зразок 1 і тангенціальною до поверхні нижнього зразка 1 скочується сили G_φ . Обидві складові залежать від кута нахилу системи φ :

$$G_N = G \cdot \cos\varphi \quad (1.14)$$

$$G_\varphi = G \cdot \sin\varphi. \quad (1.15)$$

Між зразками 1 і 2 виникає сила тертя $F_{тр}$ внаслідок обертання нижнього зразка 1, збігається з вектором його лінійної швидкості, спрямованим горизонтально. Сила тертя $F_{тр}$ пропорційна силі нормального тиску G_N і динамічному коефіцієнту тертя m :

$$F_{тр} = G_N \cdot m = G \cdot \cos\varphi \cdot m. \quad (1.16)$$

З розглянутої сукупності сил в площині робочої поверхні на верхній зразок 2 діють сила тертя $F_{тр}$ і скочується сила G_φ , що утворюють геометричним підсумовуванням рівнодіюча F . Рівнодіюча F урівноважується реакцією шарнірної зв'язки 3. Вектор реакції шарнірної зв'язки 3, відповідно до законів механіки, збігається з її напрямком. Таким чином, умова рівноваги має вигляд:

$$tg\alpha = \frac{G_\varphi}{F_{тр}} = \frac{G \cdot \sin\varphi}{G \cdot \cos\varphi \cdot m} = \frac{tg\varphi}{m} \quad (1.17)$$

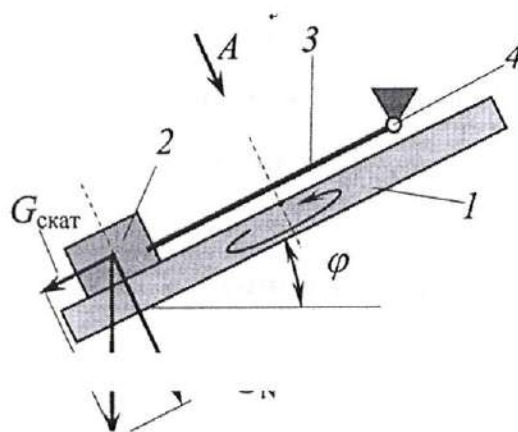
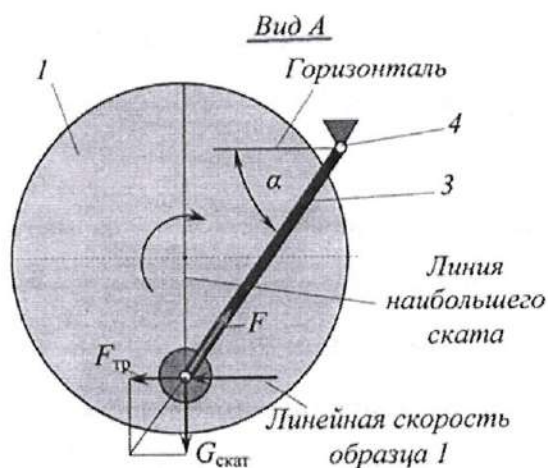


Рисунок 1.12 — Схема пристрою для реалізації запропонованого способу визначення динамічного коефіцієнта зовнішнього тертя з двома рухомими зразками [18]



Фиг. 2

Рисунок 1.13 — Схема руху зразка і діючих при цьому зусиль [18]

Перевага запропонованого способу експериментального визначення динамічного коефіцієнта зовнішнього тертим є фіксація шуканого значення коефіцієнта тертим в процесі проведення досвіду, що дозволяє спостереження его в течение тривалого години, оцінюючі стабільність або Межі варіації. Змінюючі частоту Обертаном нижнього бланках, можна оцінюваті варіацію динамічного коефіцієнта зовнішнього тертим в широкому діапазоні швидкості відносного переміщення зразків.

Недоліком способу є обмеження шляху відносного переміщення системи габаритами зразків. При обмеженому шляху переміщення для досягнення сталого стану системи потрібні повторні досліди з метою

послідовного досягнення сталого кута α між шарнірної зв'язком і напрямком переміщення. З цієї ж причини швидкість відносного переміщення зразків обмежується досить низькими значеннями. [18]

1.2.7 Спосіб визначення статичного і динамічного коефіцієнтів зовнішнього тертя.

Технічним результатом пропонованого технічного рішення є можливість визначення в безперервному режимі динамічного коефіцієнта зовнішнього тертя між деталями, робочі поверхні яких мають сферичну форму, в тому числі при різних швидкостях відносного переміщення зразків, з виміром при проведенні дослідів тільки геометричних параметрів системи, без визначення сили тертя [19].

Технічний результат досягається тим, що динамічний коефіцієнт зовнішнього тертя визначають при відносному переміщенні двох зразків, розташованих один на одному, при цьому нижній зразок виконують у вигляді тіла обертання з опуклою сферичною поверхнею, наприклад, у вигляді кульового сегмента, кульового пояса і ін. Вісь сферичної поверхні нижнього зразка розташовують вертикально і призводять нижній зразок в обертання навколо цієї осі. Верхній зразок виконують тонкостінних, у вигляді правильної геометричної ресурси, наприклад у вигляді правильного багатокутника або кола, з увігнутою робочою поверхнею, що забезпечує контакт з нижнім зразком по всьому периметру верхнього зразка. Верхній зразок з'єднують шарнірної зв'язком, має можливість повороту щодо опори в будь—якому кутовому напрямку, з опорою, що має можливість переміщення в будь—якому координатном напрямку. Зміною координат опори або довжини шарнірної зв'язку досягають такого становища верхнього зразка, при якому лінія, що проходить через центр сферичної поверхні і центр майданчика контакту верхнього зразка з нижнім, перпендикулярна напрямку шарнірної зв'язку. У цьому положенні системи визначають лінію найбільшого ската в площині,

дотичній до сферичної поверхні в центрі площадки контакту верхнього зразка з нижнім, знаходять кут укосу φ цієї лінії щодо горизонту і кут β між лінією найбільшого скату і напрямком шарнірної зв'язку. З використанням встановлених значень кутів φ і β визначають динамічний коефіцієнт зовнішнього тертя по формулі:

$$m = \frac{tg\varphi}{ctg\beta} \quad (1.18)$$

Верхній зразок 2 розміщують на робочій поверхні нижнього зразка 2 і з'єднують його з опорою 4 гнучкою абстрижневий шарнірної зв'язком 3, що має можливість повороту щодо опори 4 у будь—якому напрямку. Одночасно забезпечують можливість переміщення опори 4 у будь—якому координатном напрямку щодо нижнього зразка 1.

Для визначення динамічного коефіцієнта зовнішнього тертя нижній зразок 1 приводять в обертання навколо вертикальної осі. При цьому верхній зразок 2, утримуваний шарнірної зв'язком 3, прагне взяти на поверхні нижнього зразка 1 стійке положення, при якому діють на верхній зразок 2 сили знаходяться в рівновазі. До числа діючих сил відносяться сила тяжіння G верхнього зразка 2, що викликає відповідні сили реакції нижнього зразка 1, поздовжня реакція R в шарнірної зв'язку 3 і сила тертя $F_{тр}$ між нижнім зразком 1 і верхнім зразком 2. Зміною довжини шарнірної зв'язку 3 або координат розташування її опори 4 призводять верхній зразок 2 в таке стабільне положення, щоб радіальна лінія, що проходить через центр сферичної поверхні і центр майданчика контакту верхнього зразка 2 з нижнім зразком 1, була перпендикулярна напрямку шарнірної зв'язку 3. Після досягнення сталого положення верхнього зразка 2 визначають кут φ між віссю обертання нижнього зразка 2 і радіальної лінією, що з'єднує центр сферичної поверхні з центром майданчика контакту між верхнім зразком 2 і нижнім зразком 1. кут φ можна розглядати і як більш просто визначається кут укосу сферичної поверхні нижнього зразка 1 в точці, що відповідає центру майданчика контакту між зразками. При визначенні кута φ може бути використано його

рівність полярної координати на сферичній поверхні нижнього зразка 1, в якій знаходиться центр майданчика контакту верхнього зразка 2 з нижнім зразком 1. В окремому випадку, для визначення кута φ на сферичній поверхні може бути виконана графічна розмітка широтних координат (рис. 1.14). Кут укосу можна також визначати, як кут щодо горизонту лінії найбільшого скату в площині, дотичній до сферичної поверхні нижнього зразка 1 в центрі площадки контакту. Лінія найбільшого скату, що проходить через центр майданчика контакту між зразками, неминуче перетинає вісь обертання нижнього зразка 1. Тому для виявлення лінії найбільшого скату зручно використовувати конструктивно виконаний відліковий елемент 5, що знаходиться на осі обертання нижнього зразка 1. Одночасно визначають кут β між лінією найбільшого скату в дотичній площині і напрямком шарнірної зв'язку 3.

При відносно невеликих розмірах верхнього зразка 2 з несуттєвою для результатів похибкою можна умовно вважати, що контакт між зразками відбувається по плоскій поверхні, яку символізує розглянута вище площину, дотична до сферичної поверхні нижнього зразка 1 в центрі площадки контакту, тобто нахилена відносно горизонту з кутом укосу φ . При невеликій товщині верхнього зразка 2 і малих значеннях кута φ з настільки ж несуттєвою похибкою можна вважати, що вектор його сили тяжіння G проходить через центр майданчика контакту між зразками і може бути представлений як геометрична сума двох складових: сили нормального тиску G_N і скочується сили G_φ , спрямований по лінії найбільшого скату, при цьому [18]:

$$G_N = G * \cos\varphi \quad (1.19)$$

$$G_\varphi = G * \sin\varphi \quad (1.20)$$

Внаслідок вертикального розташування осі обертання вектор лінійної швидкості будь-якої точки нижнього зразка 7, в тому числі і в центрі площадки контакту, спрямований горизонтально. За законами фізики вектор сили тертя між зразками збігається з напрямком вектора лінійної швидкості, тобто теж спрямований горизонтально. Величина сили тертя визначається

динамічним коефіцієнтом тертя тдін, і нормальної складової G_N сили тяжіння верхнього зразка 2.

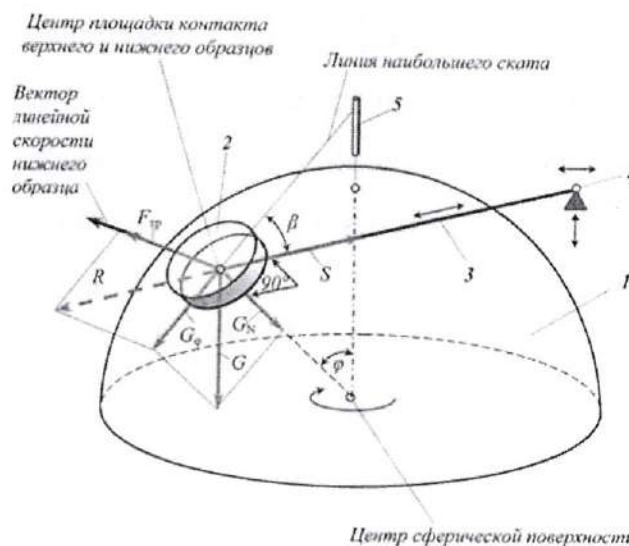
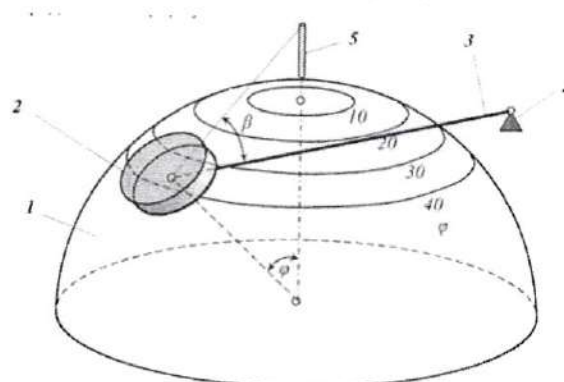


Рисунок 1.14 — Загальна схема реалізації запропонованого способу визначення динамічного коефіцієнта зовнішнього тертя щодо обертається сферичної поверхні [18]



Фиг. 2

Рисунок 1.15 — Розмітка широтних координат оболонки для визначення кута укосу φ [18]

Перевагою запропонованого способу експериментального визначення динамічного коефіцієнта зовнішнього тертя є можливість використання для цього деталей зі сферичними поверхнями, якість яких сформувалося під впливом реальних умов тривалої експлуатації, а також легкість реалізації внаслідок простий кінематики експерименту, відсутність необхідності вимірювання сил тертя і можливості обмежитися при проведенні сил тертя визначенням тільки геометричних параметрів [18].

Недоліком розглянутих способів є необхідність зміни кута нахилу зразків під час проведення досвіду, що призводить до похибки визначення цього кута, так як інерційність системи ускладнює встановлення моменту зісковзування зразка. Крім того, результат експерименту проявляється одномоментно, для підтвердження достовірності даних потрібне повторення дослідів і статистична обробка їх результатів [18].

Висновки до розділу

В ході проведеного літературного огляду існуючих моделей утановок були виявлені наступні основні недоліки, а саме:

1. неможливість за один експеримент отримати необхідні данні,
2. дороговизна попередніх моделей, яка, в свою чергу, пов'язана зі складністю виробництва існуючих моделей,
3. складність в обслуговуванні та роботі.

Також виявлені напрямки роботи для проектування нової установки для дослідження коефіцієнту тертя за умов динамічного контактного навантаження, а саме:

1. Надійну, жорстку та довговічну установку для дослідження тертя за умов динамічного контактного навантаження.
2. Установка має бути технологічною, а її деталі прості у виготовленні та взаємозамінні.
3. Невисока ціна, як деталей, так і виробництва вцілому.
4. Установка має бути простою в експлуатації, та не потребувати ретельного догляду.
5. Оператор не повинен мати високу кваліфікацію для роботи на установці.

2 УСТАНОВКА ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ДИНАМІЧНОГО КОЕФІЦІЄНТУ ТЕРТЯ ЗА УМОВ КОНТАКТНОГО НАВАНТАЖЕННЯ

2.1 Опис роботи та принципова схема та елементи конструкції установки.

З першого розділу ми виявили, що основним конструктивним недоліком всіх попередніх конструкцій є неможливість використання прямолінійної площини контакту біля зразків. Тобто зразки рухаються або по криволінійній траєкторії одного зразка, або по довгій траєкторії. Даний недолік впливає на вартість і час проведення експерименту (складності виконання протяжної криволінійної поверхні з постійним радіусом). Також значно зростаються габарити та маса конструкції, це в свою чергу веде до подорожчання експериментів. Тому пропонується змінити форм підвіски.

Пропонується запропонований варіант вирішення даного недоліку (рис.2.1):

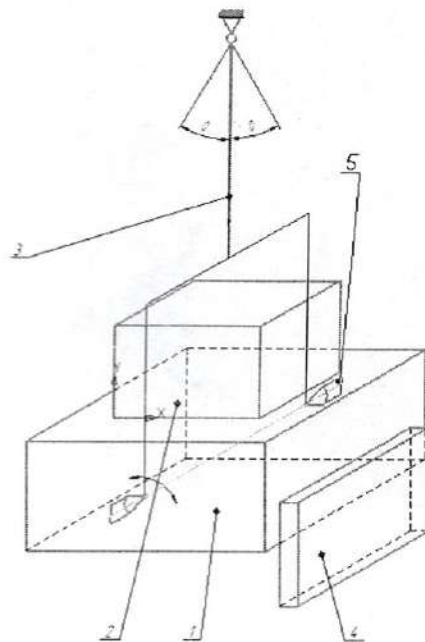


Рисунок 2.1 — Схема модернізованого механізму. 1 — нижній зразок;

2 — верхній зразок; 3 — маятниковий підвіс; 4 — упор., 5 — центра

Основною відмінністю запропонованої конструкції (рис. 2.1) є маятниковий підвіс 3 та центра 5. Ця шарнірна система дозволяє закріпленому у центрах нижньому зразку 1 обертатися навколо осів центрів, тим самим зробити нижній зразок частиною однієї рухомої системи під час проведення дослідів. Верхній зразок 2 може бути самого різного розміру і не потребує складної обробки та жорсткого позиціонування, що дозволяє прискорити проведення експериментів у декілька разів. Упор 4 повинен зупинити рухому систему зразків коли вони опиняться в нижній мертвій точці.

В, запропонованому механізмі передбачається замінити маятниковий механізм підвіски 3 на шарнірний механізм із закріпленням верхнього зразка в самообертаючих центрах (рис. 2.1). Це дозволить відійти від зігнутої під одним радіусом конфігурації випробовуваних зразків, і замінити їх на плоскі, що дозволить істотно знизити витрати на виробництво зразків. При цьому криволінійна поверхня може бути замінена звичайної фаскою в місці першого контакту з поверхню (рис. 2.2). Величина фаски визначається конструктивно, виходячи з розмірів і маси зразка.

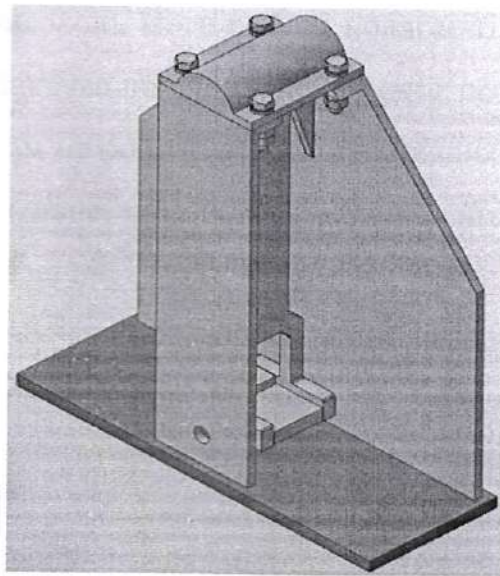


Рисунок 2.2. – 3-D модель установки для дослідження коефіцієнту тертя за умов динамічного контактного навантження.

Дана конструкція повністю відповідає технічним вимогам, пред'явленим до даного механізму. А, точніше, дає можливість визначення динамічного коефіцієнта зовнішнього тертя при обмежених габаритах зразків

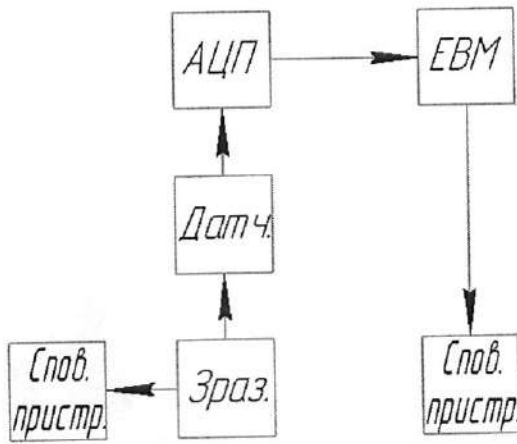


Рисунок 2.3 — Принципова схема

Сигнал надходить від зразка до датчика (Рис. 2.3), який в свою чергу передає сигнал далі на АЦП, а від АЦП до ЕВМ для розрахунку. Також від зразка надходить сигнал на сповіщальний пристрій для початку пуску. Прикінці розрахунку ЕВМ надсилає результат на екран та будується графік траєкторії руху зразка (Рис. 2.4)

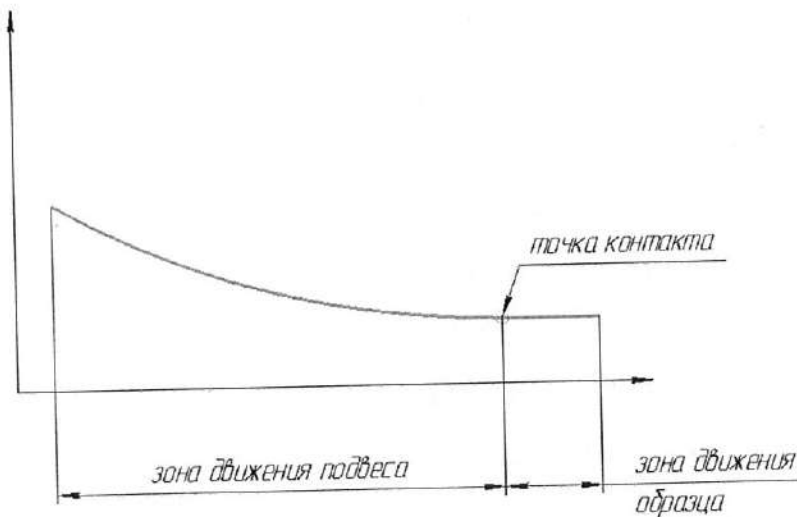


Рисунок 2.4 — Траєкторія руху зразка [19].

Розрахунок сили тертя ведеться за допомогою програми «Виртуальная станция для исследования силы трения» [19]. Програмний продукт призначений для імітаційного виконання експериментальних робіт із основних розділів триботехніки.

Моделювані лабораторне обладнання та прилади, а також методика виконання робіт та обробки результатів вимірювань відповідають вимогам застосовуваним у реальних лабораторних умовах [19].

«Виртуальная установка для исследования силы трения» має графічну оболонку (рис. 2.5), за допомогою якої виконується вибір та запуск окремих лабораторних робіт, а також методичних вказівок, виконаних у вигляді інтегрованих HTML сторінок [19].



Рисунок 2.5 – Экран запуска програми [19].

В даному винаході застосований метод, в якому зразки (верхній і нижній) знаходяться один на одному і нижній зразок знаходиться в центрах. Верхній зразок розташовується максимально близько до лівого краю нижнього зразка. Установка наводиться в дію руками, шляхом відхилення на певний кут підвісу із зразками до початку руху верхнього зразка. У момент початку руху нижнього зразка, комп'ютерна програма «Виртуальная установка для исследования силы трения» фіксує кут, до десятих хвилин і видає відповідний звуковий сигнал на комп'ютері про початок пуску оператору. Оператор, не надаючи підвісу прискорення відпускає підвіс, і він, під дією сили тяжіння спрямовується вниз. При досягненні нижньої точки нижній зразок вдаряється об упор і зупиняється. Верхній зразок, при впливі сили інерції, продовжує ковзати по нижньому зразком і проходить відстань S . Дане відстань, як і сила тертя, фіксується на комп'ютері, і на ньому малюється осциллограмма, проводиться перерахунок отриманих, що дозволяє нам оцінити силу тертя. Програма дозволяє враховувати початкові коливання і вносити певні корективи при розрахунку.

2.2 Основні розрахунки установки для визначення динамічного коефіцієнту тертя за умов контактного навантаження

2.2.1 Розрахунок вісі підвісу

В установці для визначення динамічного коефіцієнту тертя за умов контактного навантаження вісь слугує для підтримки підвісу, на який встановлюються зразки.

Визначаємо зусилля, що діють на підшипники і будемо епюри гиняльних моментів. Для початка визначимо розрахунковий діаметр осі (d_0 [21]).

$$d_0 = \sqrt[3]{\frac{T_{ш} \cdot 10^3}{0,2 \cdot [\tau_{кр}]}} \text{, мм} \quad (2.1)$$

де $T_{ш}$ – обертовий момент;

$$T_{ш} = 9550 \cdot \frac{P \text{, кВт}}{n \text{, хв}^{-1}} \quad (2.2)$$

$$T_{ш} = 9550 \cdot \frac{10}{45} = 2122,2 \text{, кВт}$$

де P – потужність;

n – частота обертів.

$$n = 45 \text{ мин}^{-1}$$

$$P = 10 \text{ кВт}$$

$$d_0 = \sqrt[3]{\frac{2122,2 \cdot 10^3}{0,2 \cdot 15}} = 43 \text{ мм}$$

Рівняння моментів

$$\sum M_{AV} = F_1 \cdot 12 + A_x \cdot 24 \quad (2.3)$$

$$A_x = \frac{F_1 \cdot 12}{24}, \text{ Н}$$

$$A_x = \frac{3,8 \cdot 12}{24} = 1,9 \text{ Н}$$

$$\sum M_{AX} = -F_1 \cdot 12 - A_v \cdot 24 \quad (2.4)$$

$$A_v = \frac{-F_1 \cdot 12}{24}, \text{ Н}$$

$$A_v = \frac{-3,8 \cdot 12}{24} = -1,9 \text{ Н}$$

Визначаємо згинальні момент в горизонтальному перетині.

$$\sum M_{BV} = F_1 * 12 + B_x * 24 \quad (2.5)$$

$$B_x = \frac{F_1 * 12}{24} \text{ Н}$$

$$B_x = \frac{3.8 * 12}{24} = 1.9 \text{ Н}$$

$$\sum M_{BX} = -F_1 * 12 - B_v * 24 \quad (2.6)$$

$$B_v = \frac{-F_1 * 12}{24}, \text{ Н}$$

$$B_v = \frac{-3.8 * 12}{24} = -1.9 \text{ Н}$$

Далі будується епюра згинальних моментів (рис. 2.5)

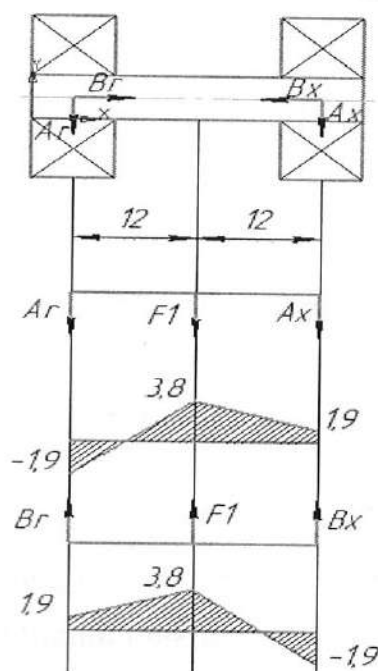


Рисунок 2.5 — Побудова епюр згинальних моментів..

2.2.2 Розрахунок довговічності підшипників.

Підшипники в установці для визначення динамічного коефіцієнту тертя за умов динамічного контактного навантаження є опорами вісі, на якій обертається підвіс.

Підшипники кочення підбирають за статичною вантажопідйомністю або заданою довговічністю.

Вибираємо радіальний підшипник 1000801.

Характеристики: $d=12\text{мм}$, $D=21\text{мм}$, $B=5\text{мм}$.

З попередніх розрахунків ось ми маємо сили, що діють на підшипники і таким чином визначаємо їх рівнодіючу. [24]

$$R_1 = \sqrt{A_V^2 + A_H^2} \quad (2.7)$$

$$R_1 = \sqrt{1,9^2 + 1,9^2} = 2,68 \text{ Н},$$

$$R_2 = \sqrt{B_V^2 + B_H^2} \quad (2.8)$$

$$R_2 = \sqrt{1,9^2 + 1,9^2} = 2,68 \text{ Н}$$

Зусилля на 2-х підшипниках рівні. Так як підшипниковий вузол симетричний [24].

$$\text{Де } S_{12} = R_2 \cdot \operatorname{tg} \alpha, \text{ Н} \quad (2.9)$$

$$S_{12} = 2,68 \cdot \operatorname{tg} 23^\circ = 1,2 \text{ Н}$$

$$S_{11} = R_1 \cdot \operatorname{tg} \alpha, \text{ Н} \quad (2.10)$$

$$S_{11} = 2,68 \cdot \operatorname{tg} 23^\circ = 1,2 \text{ Н}$$

$$R_a = F_1 + S_{11} - S_{12}, \text{ Н} \quad (2.11)$$

$$R_a = 3,8 + 1,2 - 1,2 = 3,8 \text{ Н}$$

Так як $\frac{R_2}{R_a} = \frac{2,68}{3,8} = 0,09 < e = 0,36$, то вибираємо коефіцієнти радіальної і осьової навантажень по наступуючим значенням: $X=1$, $Y=0$.

Рівняння навантаження підшипників:

$$P = (XVR_r + YR_a)k_\sigma k_t, \text{ Н} \quad (2.12)$$

де $V=1$ — коефіцієнт оборотів [24],

$k_\sigma = 1$ — коефіцієнт безпеки [24],

$k_t = 1$ — температурний коефіцієнт [24].

$$P = (1 * 1 * 0 + 0 * 2,68) * 1 * 1 = 2,68 \text{ Н}$$

Тоді термін служби підшипників в годинах [24].

$$L = \left(\frac{C}{P}\right)^{10/3} \cdot \frac{\text{об}}{\text{хв}} \quad (2.13)$$

$$L = \left(\frac{48400}{2,68}\right)^{10/3} = 154 \cdot 10^{12} \text{ об/хв}$$

$$L_h = \frac{10^6}{60 \cdot n} L, \text{ хв} \quad (2.14)$$

$$L_h = \frac{10^6}{60 \cdot 154 \cdot 10^6} 596 = 570370000 \text{ хв} > 18\,000 \text{ хв.}$$

Обраний підшипник задовольняє умови довговічності, оскільки термін служби перевищує табличний.

2.2.3 Розрахунок на вигин упору установки

Упор слугує гальмівним механізмом, який зупиняє гойдаючий підвіс та, безпосередньо запускає експеримент, з якого і починається рух зразків. Оскільки в процесі роботи установки упор витримує ударні навантаження, то його слід розрахувати на вигин.

Розраховуємо на вигин упор установки [22].

$$Q = q \cdot 8 = H. \quad (2.15)$$

$$Q = 4,5 \cdot 8 = 36 \text{ Н}$$

$$\sum M_o = 0; Q \cdot 18 = 36 \cdot 18 = 0,65 \text{ кН} \quad (2.16)$$

Визначаємо згинаючий момент.

$$Q_1 = 0, \text{ кН};$$

$$Q_2 = 0, \text{ кН};$$

$$Q_3 = Q = 0,36, \text{ кН};$$

$$Q_4 = -0,36 \cdot 18 = -0,65, \text{ кН.}$$

Визначаємо момент.

$$M_{и1} = 0, \text{ кН};$$

$$M_{и2} = 0, \text{ кН};$$

$$M_{и3} = Q \cdot 0 = 0, \text{ кН};$$

$$M_{и4} = Q \cdot 18 = 0,65, \text{ кН};$$

Далі будується ерюга згинальних моментів упору (Рис. 2.6).

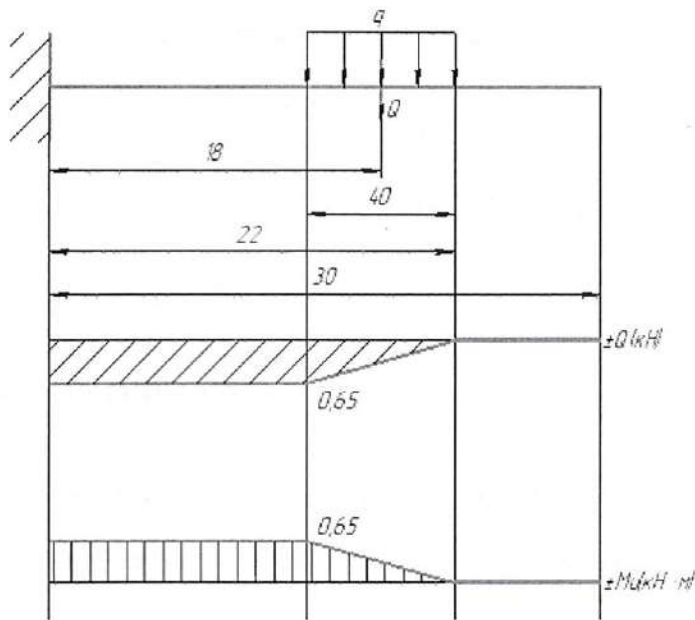


Рисунок 2.6 — Побудова епюр згинальних моментів упору

2.3 Елементи конструкції і підвісу

Конструкція основи складається з конструктивних елементів, з'єднаних а допомогою зварки в інертному газі. Полірування зони контакту всіх деталей дають можливість точно спозиціонувати стійку і стінку на підставі. У стінці і тійці виконаний посадочні гнізда під поідшипники. Ці гнізда посилені ебрами жорсткості, що збільшує загальну жорсткість конструкції.

Деталі «стінка» і «стійка» виконані зі сталі 35. Вибір даної сталі характеризується її відносною дешевизною і гарну зварюваність. Для одиначного виробництва рекомендується виготовляти ці деталі методом резерування, а для серійного виробництва — методом лиття або штампуння. Не рекомендується виконувати це деталі зварними, так як можна неправильно спозиціонувати деталі один щодо одного, і вже готове деталь вийде перекошеним. Деталь «опора» рекомендується виготовляти з нержавіючого листа, товщиною 7 мм. Рекомендована марка сталі — 12X17, бо її аналогі — AISI 403. Застосування листів дозволить значно здешевити виробництво, як заготовки, так і самої деталі. Так само ця сталь добре варюється [23].

Кришка виконана з фторопласта. Це полегшує і здешевлює конструкцію.

Товщину стінки і стійки визначаємо за формулою:

$$\delta = 1,8 \cdot \sqrt[4]{T_m} \geq 6, \quad (2.17)$$

$$\delta = 1,8 \cdot \sqrt[4]{248} = 7,14 \text{ мм}$$

Приймаємо товщину 7 мм.

2.4 Змащення установки

Підшипники змащуються мастилом: Agrinol Litol—24 літієва.

Літієві мастила, літол — пластичні мастила, одержувані загушення нафтових масел літієвим милом 12—оксистеаринової кислоти. Мило і масло утворюють емульсію у вигляді стабільного в'язкого гелю. Літієвий загущувач надає мастилі термостійкість і в'язкість, вона добре прилипає до металів і не викликає корозії. Антифрикційна багатоцільова змазка, призначена для застосування у вузлах тертя транспортних засобів, промислового устаткування і суднових механізмів різного призначення.

Мастило поміщається, безпосередньо, в підшипник в достатній кількості. А також на вісь, в місце контакту осі з підвісом [25].

Змащуються також центра, перед встановленням в них нижнього зразка мастилом індустріальним И-30А [25].

3 ПРОВЕДЕННЯ БАГАТОФАКТОРНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ НА УСТАНОВЦІ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ДИНАМІЧНОГО КОЕФІЦІЄНТУ ТЕРТЯ

Багатофакторний експеримент (БФЕ) широко використовується в сучасній науковій діяльності та є ефективним засобом обробки та планування експериментальних досліджень [26].

Плануванням багатофакторного експерименту називається процедура вибору числа дослідів та умов їх проведення, необхідних для вирішення поставленого завдання з необхідною точністю. Всі фактори, що формують процес експериментальних досліджень, змінюються одночасно за певними залежностями, а кінцевим результатом проведення багатофакторного експерименту буде математична модель досліджуваної функції [26].

Повний факторний експеримент складається з таких частин: збір та аналіз апріорної інформації; вибір вхідних та вихідних змінних, області експериментування; вибір математичної моделі, за допомогою якої надаватимуться експериментальні дані; вибір критерію оптимальності та плану експерименту; визначення методу аналізу даних; проведення експерименту; перевірка статистичних передумов для отриманих експериментальних даних; обробка результатів; інтерпретації та рекомендацій.

Крім вимоги до керованості обраних факторів, є ще кілька вимог: для будь-якої пари факторів має виконуватися умова сумісності; фактори мають бути незалежними; фактори мають бути однозначними; фактори мають безпосередньо впливати на параметр оптимізації; фактори мають бути визначені операційно; точність встановлення граничних значень факторів має бути максимально високою.

Одне з основних питань при плануванні факторного експерименту – визначення кількості факторів, що у ньому беруть участь. При цьому для

визначення значущості факторів використовуються різні методики. Основними з них є метод випадкового балансу та плани Плаккета Бермана. Як показує практика, проведення експерименту, що відсіює, за даними методиками представляє певну складність при науковій роботі [26].

Пошаговий алгоритм проведення багатofакторного експерименту.

3.1 Вибір функції та факторів.

На підставі теоретичних та/або експериментальних досліджень необхідно вибрати фактори, від яких залежить результуюча величина «Y».

Отже, проводимо трифакторний експеримент для з'ясування залежності сили тертя від шляху, який пройшов зразок, кута повороту підвісу та похибки розміщення верхнього зразка на нижньому у поперечній площині.

Для зручності позначимо фактори буквеними символами: шлях, котрий пройшов верхній зразок після досягнення підвісом нижньої метрової точки - s , Кут повороту підвісу - l , похибка розміщення верхнього зразка - w .

Обробка результаті проводиться дисперсним методом [27].

3.2 Скласти узагальнену формулу залежності.

Базова формула залежності матиме вигляд: $y=f(s,l,w)$.

3.3 Перевірити всі фактори на значущість.

Перевірити всі чинники на значимість за методикою експерименту, що відсіює (щоб їх залишилося не більше 3) [27].

3.4 Вибрати межі змін факторів.

Після визначення меж зміни факторів нижній межі присвоюємо значення "-1", середньому значенню - "0", верхній межі - "1".

Таблиця 3.1 – Прийняті позначення в багатофакторному експерименті на прикладі експерименту сталь-сталь.

Фактори	Шлях, який подолав верхній зразок, мм	Кут повороту підвісу, °	Похибка розміщення верхнього зразка, °	Сила тертя, Н
Прийняте позначення	s	L	w	F
Позначення в БФЕ	X ₁	X ₂	X ₃	Y
Верхня межа (1)	7	70	1	
Основний рівень (0)	5	40	075	
Нижня межа (-1)	3	10	0,5	

3.5 Скласти матрицю проведення багатофакторного експерименту.

Таблиця 3.2 – Матриця для проведення багатофакторного експерименту [27].

№	s	l	w	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁ *	X ₁ *	X ₂ *	X ₁ *	X ₁ =	X ₂ =	X ₃ =	Y
1	6	30	0,6	1	1	1	1	1	1	1	0,2698	0,2698	0,2698	
2	5	28	0,7	-1	1	1	-1	-1	-1	1	0,2698	0,2698	0,2698	
3	6	35	0,66	1	-1	1	-1	1	-1	-1	0,2698	0,2698	0,2698	
4	4	41	0,5	-1	-1	1	1	-1	1	-1	0,2698	0,2698	0,2698	
5	2	18	0,54	1	1	-1	1	-1	-1	-1	0,2698	0,2698	0,2698	
6	3	22	0,61	-1	1	-1	-1	1	1	-1	0,2698	0,2698	0,2698	
7	5	30	0,59	1	-1	-1	-1	1	1	1	0,2698	0,2698	0,2698	
8	5	26	0,62	1	-1	-1	1	0	-1	1	0,2698	0,2698	0,2698	
9	6	28	0,64	0	0	0	0	0	0	0	0,7467	-0,7304	-0,7304	
10	7	37	0,58	0	0	0	0	0	0	0	0,7467	-0,7304	-0,7304	
11	4	29	0,8	-1	0	0	0	0	0	0	-0,7304	0,7467	-0,7304	
12	4	24	0,95	-1	0	0	0	0	0	0	-0,7304	0,7467	-0,7304	
13	6	38	0,66	1	1	0	0	0	0	0	-0,7304	-0,7304	0,7467	
14	3	15	0,84	-1	-1	0	0	0	0	0	-0,7304	-0,7304	0,7467	
15	5	22	0,87	1	0	0	0	0	0	0	-0,7304	-0,7304	-0,7304	

3.6 Визначити коефіцієнти регресії.

$$b_i = \frac{\sum_1^n (y_i \cdot x_i)}{n} \quad (3.1)$$

Де b_i – коефіцієнт регресії [27];

n – кількість проведених дослідів (в трифакторному експерименті $n=15$) [27].

y_i – значення функції;

x_i – значення фактора;

3.7 Перевірка коефіцієнтів регресії за критерієм Стюдента.

Методика перевірки коефіцієнтів за критерієм Стюдента передбачає ортогональність плану. Ортогональне планування дозволяє отримати незалежні оцінки коефіцієнтів регресії з мінімальною дисперсією [27].

Ортогональність центрально-композиційного плану забезпечується відповідним підбором зіркового плеча α та спеціальним перетворенням квадратичних змінних x_i^2 за виразом [27]:

$$x_i' = x_i^2 - d; \quad (3.2)$$

де d – поправка, яка залежить від числа факторів.

Коефіцієнти регресії визначаються з однією і тією самою дисперсією та вносяться в табл. 3.3:

$$S_{(b)}^2 = S_{(\bar{y})}^2 / N \quad (3.3)$$

Таблиця 3.3 - Результати перевірки коефіцієнтів регресії за критерієм Стьюдента.

Коефіцієнти регресії	Перевірка коефіцієнтів регресії за критерієм Стьюдента				
	Числове значення	$S^2_{(b_i)}$	$t_{b_i} = \frac{ b_i }{\sqrt{S^2 * (b_i)}}$	Табличне значення коеф. Стьюдента	Перевірка значущості
b_0					
b_1					
b_2					
b_3					
b_{12}					
b_{13}					
b_{23}					
b_{123}					
b_{11}					
b_{22}					
b_{33}					

Незначні коефіцієнти регресії виключаються із виразу

3.8 Побудова рівняння регресії у кодованому вигляді.

Після визначення значущості коефіцієнтів за критерієм Стьюдента слід записати рівняння регресії в закодованому вигляді, з урахуванням значущості факторів за критерієм Стьюдента. Загалом для трифакторного експерименту рівняння виглядає [27]:

$$y = b_0 + b_1s + b_2l + b_3w + b_{12}sl + b_{13}sw + b_{23}lw + b_{123}slw + b_{11}s^2 + b_{22}l^2 + b_{33}w^2 \quad (3.4)$$

3.9 Перевірка однорідності дисперсії.

Критерій Кохрена визначається ставленням максимальної дисперсії до суми всіх дисперсій [27].

$$S_{(y)}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{q=1}^n (y_{iq} - \bar{y}_i)^2}{Nn(n-1)} = \frac{\sum_{i=1}^N S_i^{-2}}{N} \quad (3.5)$$

У реальних умовах гіпотеза про однорідність дисперсій підтверджується далеко не завжди. Тому слід визначити перетворення залежної змінної, знайти інший закон розподілу випадкової величини чи звернутися до якогось статистичного методу. У нашому випадку оптимальним буде критерій Фішера.

Перевірка гіпотези про адекватність моделі заснована на розрахунках дисперсії адекватності $S_{ад}^2$ та критерію Фішера (F-критерію) [27]:

$$S_{ад}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (\bar{y}_i - \hat{y}_i)^2}{f}; f = N - p; F = \frac{S_{ад}^2}{S_{(y)}^2} \quad (3.6)$$

Де \bar{y}_i розраховане за рівнянням регресії значення відгуку, f — число ступенів свободи, пов'язане з дисперсією адекватності, p — кількість коефіцієнтів регресії, що оцінюються. Розраховане значення F-критерію порівнюється з табличним значенням, що визначається числами ступенів свободи f та $N(p-1)$ [27].

3.10 Розкодування рівняння

Для подання рівняння в закодованому вигляді в закодоване рівняння замість $x_1, x_2, x_3 \dots$ слід підставити натуральні величини, відповідно до формули кодування факторів [27]:

$$x_i = \frac{(\tilde{x}_i - s)(\tilde{x}_i - l)(\tilde{x}_i - w)}{j_i}; \quad (3.7)$$

\tilde{x}_{io} - натуральне значення рівня варіювання факторам

j_i - інтервал варіювання факторів.

4 ПАТЕНТ НА УСТАНОВКУ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ДИНАМІЧНОГО КОЕФІЦІЕНТУ ТЕРТЯ ЗА УМОВ ДИНАМІЧНОГО КОНТАКТНОГО НАВАНТАЖЕННЯ.

Опис винаходу

Установка для вимірювання динамічного коефіцієнту тертя за умов динамічного контактного навантаження

Винахід відноситься до області механічних випробувань матеріалів, зокрема до визначення динамічного коефіцієнта тертя при взаємному переміщенні зразків.

Відомі способи визначення динамічного коефіцієнта зовнішнього тертя, що складаються в безпосередньому вимірі сили тертя на зразках при їх взаємному переміщенні.

Недоліком таких способів є необхідність застосування силувимірювальних механізмів, які ускладнюють застосовуються пристрої.

Існують способи і пристрої, що дозволяють виключити безпосереднє вимірювання сили при визначенні динамічного коефіцієнта тертя, засновані на законах механіки, що визначають співвідношення між силою тяжіння рухомого зразка і кутом нахилу випробувальної системи. Наприклад, відомий спосіб визначення динамічного коефіцієнта зовнішнього тертя ковзання при нахилі двох розташованих один на одному зразків, нижній з яких, має форму диска, приводять в обертання навколо своєї осі і нахиляють щодо горизонту, утримуючи верхній зразок в тому місці диска, де його лінійна швидкість спрямована вгору по ухилу, при цьому динамічний коефіцієнт тертя визначають за поточним значенням кута нахилу φ в той момент, коли верхній зразок починає зісковзувати вниз [патент РФ №2458336, G01N 19/02, опубл. 10.08.2012].

Недоліком цього способу визначення коефіцієнта тертя є необхідність великих габаритів приводиться в обертання зразка, що важко забезпечити при дослідженні деяких матеріалів з особливими властивостями.

Поставлена задача вирішується тим, що в способі запропоновано відійти від криволінійності поверхні, методом заміни матникової системи на шарнірну. Це дозволяє значно економити час, затраченій на виробництво зразків, заощадити кошти, зменшити масу виробу (створивши «настільну» установку), а також зменшити затрати на виробництво самої заготовки.

Спосіб реалізується таким чином.

В даному винаході застосований метод, в якому зразки (верхній 2 і нижній 1) знаходяться один на одному і нижній зразок 1 знаходиться в центрах 5. Верхній зразок 2 розташовується максимально близько до лівого краю нижнього зразка. Установка наводиться в дію руками, шляхом відхилення на певний кут підвісу 3 із зразками до початку руху верхнього зразка 2. У момент початку руху нижнього зразка, комп'ютерна програма фіксує кут, аж до десятих хвилин і видає відповідний звуковий сигнал на комп'ютері про початок пуску оператору. Оператор, не надаючи підвісу 3 прискорення відпускає підвіс, і він, під дією сили тяжіння спрямовується вниз. При досягненні нижньої точки нижній зразок вдаряється об упор і зупиняється. Верхній зразок 2, при впливі сили інерції, продовжує ковзати по нижньому зразком і проходить відстань S . Дана відстань, як і сила тертя, фіксується на комп'ютері, і на ньому малюється осциллограма, проводиться перерахунок отриманих, що дозволяє нам оцінити силу тертя.

Заявник: Національний університет «Запорізька політехніка»

Професор

В.В. Циганов

Формула корисної моделі

Установка для вимірювання динамічного коефіцієнту тертя за умов динамічного контактного навантаження **відрізняється** тим, що маятникова система замінена на шарнірну, с затисканням нижнього зразка у рухомих центрах.

Заявник: Національний університет «Запорізька політехніка»

Професор

В.В. Циганов

Заява про державну реєстрацію винаходу (корисної моделі)

Порядковий номер заявки, визначений заявником		Дата одержання		
(22) Дата подання заявки	Пріоритет	(51) МПК	(21) Номер заявки	
i) Реєстраційний номер та дата подання міжнародної заявки, установлені відомством—одержувачем j) Номер і дата міжнародної публікації міжнародної заявки				
ЗАЯВА про державну реєстрацію винаходу (корисної моделі)	НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО "УКРАЇНСЬКИЙ ІНСТИТУТ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ" (УКРПАТЕНТ) вул. Глазунова, 1, м. Київ—42, 01601			
Надаючи нижчезазначені документи, прошу (просимо) видати: патент України на винахід патент України на корисну модель				
1) Заявник(и)		Код за ЄДРПОУ		
Національний університет «Запорізька політехніка» вул. Жуковського, 64, м. Запоріжжя, 69063		02070921		
Зазначається повне ім'я або найменування заявника(ів), його (їх) місце проживання або місцезнаходження та код держави згідно із стандартом BOIB ST.3. Дані про місце проживання винахідників—заявників наводяться за кодом (72)				
Прошу (просимо) встановити пріоритет заявки пунктів формули винаходу за заявкою № _____ за датою:				
1) подання попередньої заявки в державі — учасниці Паризької конвенції (навести дані за кодами (31), (2), (33)) 2) подання до Укрпатенту попередньої заявки, з якої виділено цю заявку (навести дані за кодом (62)) 3) подання до Укрпатенту попередньої заявки (навести дані за кодом (66))				
(1) Номер попередньої заявки	(32) Дата подання попередньої заявки	(33) Код держави подання попередньої заявки згідно із стандартом BOIB ST.3	(62) Номер та дата подання до Укрпатенту попередньої заявки, з якої виділено цю заявку	(66) Номер та дата подання до Укрпатенту попередньої заявки
54) Назва винаходу (корисної моделі)				
Встановка для визначення динамічного коефіцієнта тертя за умов контактного навантаження				
8) Адреса для листування вул. Жуковського, 64, м. Запоріжжя, 69063				
Телефон+3806609379992				
74) Повне ім'я та реєстраційний номер представника у справах інтелектуальної власності або повне ім'я іншої довіреної особи				
<input type="checkbox"/> Прошу (просимо) прискорити публікацію заявки				

Перелік документів, що додаються	Кількість арк.	Кількість прим.	
<input checked="" type="checkbox"/> опис винаходу			Підстави щодо виникнення права на подання заявки й одержання патенту (без подання документів), якщо винахідник(и) не є заявник(ами): <input checked="" type="checkbox"/> є документ про передачу прав винахідником(ами) або роботодавцем(ями) правонаступнику(ам) <input type="checkbox"/> є документ про право спадкування
<input checked="" type="checkbox"/> формула винаходу			
<input checked="" type="checkbox"/> креслення та інші ілюстративні матеріали			
<input checked="" type="checkbox"/> реферат			
<input type="checkbox"/> документ про сплату збору за подання заявки			
<input type="checkbox"/> документ, який підтверджує наявність підстав для зменшення збору або звільнення від сплати збору			
<input type="checkbox"/> документ про депонування штаму			
<input type="checkbox"/> копія попередньої заявки, яка підтверджує право на пріоритет			
<input type="checkbox"/> переклад заявки українською мовою			
<input type="checkbox"/> документ, який підтверджує повноваження довіреної особи (довіреність)			
<input type="checkbox"/> інші документи:			
<input type="checkbox"/> міжнародний звіт про пошук			
(72) Винахідник(и) Винахідник(и)—заявник(и) (повне ім'я)	Місце проживання та код держави згідно із стандартом BOIB ST. 3 (для іноземних осіб — тільки код держави)		Підпис(и) винахідника(ів)— заявника(ів)
ЦИГАНОВ Володимир Васильович			
ТАРАСОВ Родіон Русланович			
Я (ми)	_____ (повне ім'я)		
прошу (просимо) не згадувати мене (нас) як винахідника(ів) при публікації відомостей стосовно заявки на видачу патенту Підпис(и) винахідника(ів) _____			
Підпис(и) заявника(ів) _____			
Дата підпису	Якщо заявником є юридична особа, то підпис особи, що має на це повноваження, із зазначенням посади скріплюється печаткою. Якщо всі винахідники виступають заявниками, то їх підписи наводяться за кодом (72).		
М. П.			

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.

5.1. Аналіз потенційних небезпек.

Так як аксіома про потенційну небезпеку будь-яка діяльність або праця людини може характеризуватися певною імовірністю небезпеками - абсолютної безпеки не існує.

Небезпека (danger) – це процеси, явища та об'єкти, що можуть при відповідних умовах шкодити здоров'ю людини відразу або майбутньому, тобто викликати небажані наслідки.

Оскільки номенклатура небезпек, що мають місце в процесі життєдіяльності та праці людини нараховує понад 150 назв, то виникає необхідність у їх класифікації. На сьогоднішній день не має чіткого поділу небезпек за відповідними ознаками, тому вирішено класифікувати їх наступним чином класифікують:

1. за сферою (джерелом) походження: природна, техногенна, соціальна та ін.;
2. за часом прояву: імпульсні, кумулятивні;
3. за локалізацією: пов'язані з космосом, атмо-, гідро-, літосферою;
4. за наслідками: захворювання, травми, смертельні випадки, аварії, пожежі;
5. за збитками: соціальні, екологічні, технічні та ін.;
6. за сферою прояву: побутова, виробнича, спортивна тощо;
7. за структурою: прості, складні, похідні;
8. за характером дії на людину: активні та пасивні (останні активізуються за рахунок енергії, носієм якої є сама людина, що наражається на гострі, різкі нерухомі елементи, ями, ухили, нерівності поверхні тощо).

Потенційні небезпеки, фізичного характеру.

До потенційних небезпек, фізичного характеру відносять:

В установці для дослідження тертя в умовах динамічного контактного навантаження небезпеку фізичного характеру може нести:

1. гойдаючий підвіс за зразками (може нанести удар по рукам),
2. самі зразки, які можуть мати гострі кромки,
3. установка, яка встановлена недостатнім чином на випробувальному столі,
4. враження електричним струмом

Потенційні небезпеки психофізіологічного характеру

До потенційних небезпек психофізіологічного характеру може відноситися:

1. робоче місце, організоване недостатнім чином (незадовільні умови ергономіки, що призводять до роздратованості у працівника, що в свою чергу призводить до падіння продуктивності праці, непорозумінню серед колективу, та шкодить нервовій системі),
2. недотримання норм робочого часу, що може призвести до підвищеної стомленості, пошкоджень нервової системи, головного мозку, зору;
3. налаштування комп'ютера, а саме: блимання екрану монітору, розташування монітору на близькій чи далекій відстані від очей оператора, недостатнім чином налаштована яскравість та контрастність екрану , що також може призвести до пошкоджень зору.

Потенційні небезпеки санітарно-гігієнічного характеру

До потенційних небезпек санітарно-гігієнічного характеру відносяться:

1. недостатня вентиляція приміщення, що, при роботі з паливо-мастильними матеріалами пари, які виділяються, можуть призвести до пошкодження дихання,
- незадовільна система опалення може призвести до хвороб загального типу.

В установці для дослідження тертя в умовах динамічного контактного навантаження небезпеку фізичного характеру може нести:

5. гойдаючий підвіс за зразками (може нанести удар по рукам),
6. самі зразки, які можуть мати гострі кромки,
7. установка, яка встановлена недостатнім чином на випробувальному столі,
8. враження електричним струмом

Потенційні небезпеки психофізіологічного характеру

До потенційних небезпек психофізіологічного характеру може відноситися:

4. робоче місце, організоване недостатнім чином (незадовільні умови ергономіки, що призводять до роздратованості у працівника, що в свою чергу призводить до падіння продуктивності праці, непорозумінню серед колективу, та шкодить нервовій системі),

5. недотримання норм робочого часу, що може призвести до підвищеної стомленості, пошкоджень нервової системи, головного мозку, зору;

6. налаштування комп'ютера, а саме: блимання екрану монітору, розташування монітору на близькій чи далекій відстані від очей оператора, недостатнім чином налаштована яскравість та контрастність екрану , що також може призвести до пошкоджень зору.

Потенційні небезпеки санітарно-гігієнічного характеру

До потенційних небезпек санітарно-гігієнічного характеру відносяться:

2. недостатня вентиляція приміщення, що, при роботі з паливо-мастильними матеріалами пари, які виділяються, можуть призвести до пошкодження дихання,

незадовільна система опалення може призвести до хвороб загального типу.

5.2 Заходи по забезпеченню техніки безпеки.

Для виключення можливого удару гойдаючим підвісом по рукам оператора або лаборанта, в роботі передбачені:

- організаційні заходи (НПАОП 0.00-4.12-05 «Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці») проведення навчання з правил користування установкою для вимірювання динамічного коефіцієнту тертя за умов динамічного контактного навантаження, приміщення повинно бути оснащено аптечками першої медичної допомоги відповідно ДСанПІН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин».

- технічні заходи (робоча зона має чіткі межі, під час проведення досліду всі працівники мають знаходитися на своїх місцях, забороняється руками зупиняти зразки, чи створювати їм перешкоди під час руху.

Для виключення можливих порізів рук в роботі передбачені:

- організаційні заходи (до зразків на етапі проектування в кресленику, згідно ДСТУ Б А.2.4-4 «Основні вимоги до проектної та робочої документації» пред'явлені технічні вимоги зі вказівкою, що гості кромки необхідно притупити фаскою $1,5 \times 45^\circ$).

- технічні заходи (зразки мають виконуватися відповідно кресленика з дотриманням всіх технічних вимог та прийняті ОТК після виготовлення).

Для виключення можливих падінь обладнання на підлогу в роботі передбачені заходи (поверхня, на яку встановлюється установка має бути рівною по усій площині, без перекосів, сама установка має бути встановлена).

Для виключення можливостей враження електричним струмом в роботі передбачені:

- організаційні заходи (лекції з правил електробезпеки, контроль знань та атестація співробітників на другу чи третю групу з електробезпеки, згідно

НПАОП 0.00-4.12-05 «Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці»)

– технічні заходи (оскільки електроживлення електрообладнання лабораторії, оснащеної комп'ютером здійснюється від мережі змінного струму напругою 220 В та частотою 50 Гц,. Відповідно вимогам «ПУЕ-2014», електрообладнання в приміщенні з ПК, відноється як електроустановка з живленням до 1000 В, тому виходячи з вимог глави 1.7 «ПУЕ» та ГОСТ 12.1.030-81 (2001) «ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление», величина опору контуру захисного заземлення електрообладнання приміщення з ПК у будь-яку пору року повинен перевищувати – 4 Ом).

Для виключення можливостей потенційних небезпек психофізіологічного характеру в роботі передбачено:

- організаційні заходи (згідно ДСанПіН 3.3.2.007-98 робоче приміщення повинно бути забезпечено природнім та штучним освітленням, природне освітлення повинно здійснюватися через вікна. Віконні прорізи мають бути обладнані жалюзі, завісами. Внутрішнє оздоблення повинно включати в себе дуфузно-відбивні матеріали.

Стіл повинен мати висоту 700-800мм, ширину 600-1400мм. Робочій стець повинен регулюватися по висоті, з регульованими підлокітниками, екран повинен розташовуватися на значній відстані від оператора, але повинні чітко проглядатися літери на елементи. Усі електричні кабелі мають бути добре захищені від потрапляння вологи та недоступні для працівника. Робочий день регламентований відповідно Державні санітарні норми та правила «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу» МІОУ 06.05.2014 р. за № 472/25249.).

– технічні заходи (штучне освітлення здійснюється системою загального освітлення. В якості джерела світла використовуються люмінесцентні лампи, які об'єднані в систему суцільних ліній світильників.

Комп'ютерне місце оснащено згідно вимогам ДСанПіН 3.3.2.007-98, також відповідно вимогам директиви ЄС 90/270 ЕЕС виконані всі основні вимоги до моніторів, які жорстко регламентують безпечні умови роботи і захист здоров'я співробітників, що працюють з цим обладнанням та комп'ютерами:

- символи та літери на моніторі чітко і добре розрізняються;
- зображення позбавлене блимання;
- регульована яскравість;).

5.3. Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці.

Заходи щодо забезпечення виробничої санітарії і гігієни праці розробляються відповідно до вимог Державних санітарних норм та правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу», МЮУ 06.05.2014 р. за № 472/25249 (далі – «Гігієнічна класифікація праці»).

Відповідно ДСН 3.3.6-042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» роботи, які проводяться на установці відносять до розділу легких фізичних робіт (категорія І) та охоплюють вид діяльності, при яких витрата енергії не перевищує 105-140 Вт (90-120 ккал/год.) Показники температури не повинні виходити за допустимі межі, які чітко визначені для даної категорії робіт. При виконанні операторських робіт, які пов'язані в нервовим напруженням температура не повинна перевищувати 22-24 °, вологість 60-40%. Перепад температури допускається у межах 3°. Якщо температура в приміщенні перевищує допустиму, то застосовується природна вентиляція. Аераційні ліхтарі мають розташовуватися безпосередньо поряд із джерелом тепла. Згідно СНіП 2.04.05-91 систему вентиляції потрібно проектувати так, щоб рівень шуму та вібрацій в сусідніх приміщеннях не перевищував допустимий.

Під час розробки заходів усунення санітарно-гігієнічних причин можливого виникнення професійних захворювань чи погіршення загального стану здоров'я робітників механічних цехів (дільниць), конструкторських бюро, лабораторій, що проектуються.

Заходи для забезпечення санітарії на виробництві та гігієни праці для приміщення (дослідницької лабораторії) обладнаного комп'ютером розроблені згідно вимог Державних санітарних норм та правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу», МЮУ 06.05.2014 р. за № 472/25249, ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні стандартні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» і НПАОП 0.00-7.15-18 «Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями».

Для забезпечення оптимального для працівників рівня параметрів повітряного та виробничого середовищ, які зазначені у ГОСТ 12.1.005-88 (1991) «ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» в проєкті був передбачений: пристрій для системи водяного опалення приміщення для підтримки заданої температури повітря в холодну пору року відповідно до ДБН В.2.5- 67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування» Приміщення, які викидаються шкідливі речовини в мінімальній кількості а не викидають зовсім передбачено пристрій для штучної механічної загально обмінної вентиляції згідно ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування».

Розрахунок природного освітлення лабораторії для визначення динамічного коефіцієнту тертя за умов динамічного контактного навантаження.

Розрахунок проводиться для лабораторії розмірами $L \times B = 15 \times 15$ м і висотою $H = 3,2$ м. Будівля розташована в Запоріжжі (IV світловий пояс), вікна розташовані на захід.

Нормування природної освітленості залежить від найменшого розміру об'єкту, розряду зорової роботи, нормованого коефіцієнту природного освітлення. Нормовані значення КПО визначаються залежно від світлового поясу.

Будівля, які розташовані у I, II, III, IV поясах КПО (e_H) визначається за формулою:

$$e_H = e_H^m m c; \quad (5.1)$$

де: e_H – нормований КПО, %, $e_H^m = 1,5$

m – коефіцієнт світлового клімату, $m = 0,9$

c – коефіцієнт сонячного клімату, $c = 0,7$

$$e_H = 1,5 * 0,9 * 0,7 = 0,95;$$

Необхідна площа вікон визначається за формулою:

$$S_B = \frac{e_H K_3 \eta_B S_n}{\tau_0 r_1 100}, \text{ м}^2 \quad (5.2)$$

де: K_3 – коефіцієнт запасу, $K_3 = 1,5$.

η_B – світлова характеристика вікон. Визначається як відношення $L/B = 15/15 = 1$ та $B/h = 15/2,1 = 7,1$. $\eta_B = 9$.

S_n – площа підлоги приміщення, м^2 , $S_n = 225 \text{ м}^2$

τ_0 – загальний коефіцієнт проникання світла.

$$\tau_0 = \tau_1 \tau_2 \tau_3 \tau_4; \quad (5.3)$$

де: τ_1 – коефіцієнт світопроникання скла, $\tau_1 = 0,8$;

τ_2 – коефіцієнт, враховуючий втрату світла через віконну раму, $\tau_2 = 0,7$;

τ_3 – коефіцієнт, враховуючий втрату світла через несучі конструкції, $\tau_3 = 1$;

τ_4 – коефіцієнт, враховуючий втрату світла через сонцезахисні пристроях $\tau_4 = 1$.

$$\tau_0 = 0,8 * 0,7 * 1 * 1 = 0,56.$$

r_1 – коефіцієнт, враховуючий ріст КТО від відбитого світла, $r_1 = 2$.

$$S_B = \frac{0,95 * 1,5 * 9 * 225}{0,56 * 2 * 100} = 25,8 \text{ м}^2$$

Визначаємо необхідну кількість вікон:

$$n = \frac{S_B}{S_B^1}, \text{ шт} \quad (5.4)$$

де: S_B^1 – площа одного вікна. Приймаємо вікна 1,5х1,7 м. $S_B^1 = 2,55 \text{ м}^2$.

$$n = \frac{25,8}{2,55} = 10,11.$$

Приймаємо 11 вікон.

5.4 Заходи з пожежної безпеки.

Комплекс протипожежних засобів для випробовуваної лабораторії, яка обладнана персональним комп'ютером в ВТД відповідає вимогам НАПБ А.01.001-2014 «Правила протипожежної безпеки в Україні».

Проаналізувавши матеріали та речовини, які необхідні для роботи лабораторії, яка обладнана персональним комп'ютером в ВТД:

- згідно ДСТУ EN 2:2014 «Класифікація пожеж (EN 2:1992, EN 2:1992/A1:2004, IDT)» лабораторія, яка обладнана персональним комп'ютером в ВТД пожежа можлива класу – А (горіння твердих матеріалів) і Е (горіння електроустановок під напругою 1000 В).

- відповідно вимог ДСТУ Б.В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою», категорія пожежної небезпеки «Д» - приміщення з твердими горючими матеріалами і речовинами.

Так як приміщення лабораторії, яка обладнана персональним комп'ютером в ВТД належать то категорії пожежної небезпеки Д, тому, згідно вимог ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги» то ступінь вогнестійкості – II.

У разі виникнення пожежі в лабораторії, яка обладнана персональним комп'ютером в ВТД, відповідно до вимог ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги» для евакуації передбачені виходи: з

вінка на пожежні сходи та через вхідні двері. Згідно) СНиП 2.09.02-85 відстань від самого віддаленого робочого місця до евакуаційного виходу не обмежується.

- Згідно вимог ДБН В.2.5-56:2014 «Системи протипожежного захисту», в лабораторії, яка обладнана персональним комп'ютером в ВТД повинна бути встановлена системи охоронної та пожежної сигналізації. Для забезпечення виявлення димових та теплових ознак і місця пожежі.

5.5 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях.

До хімічно небезпечних об'єктів (ХНО) належать підприємства, на яких виробляють, використовують, зберігають та транспортують хімічні речовини, при аваріях на яких можуть відбутися масові ураження людей, тварин та рослин. До таких об'єктів належать:

- нафтопереробні, нафтохімічні та інші споріднені їм галузі промисловості;
- виробництва, які мають промислові холодильні установки з аміаків як холодоагент (підприємства харчової, м'ясомолочної промисловості, виробничі бази та холодильники);
- водопровідні станції очищення води та каналізаційні станції очищення стічних вод, на яких використовується рідкий хлор;
- залізничні станції, річкові та морські порти, обладнані шляхами відстою рухомого складу, що транспортує ХНО;
- склади та бази із запасами ХНО.

Під хімічними небезпечними речовинами розуміються токсичні хімічні речовини, які за певних умов можуть спричинити масове ураження людей. Усі ОХВ за критерієм впливу їх на населення, атмосферне повітря, ґрунт, воду та продовольство умовно поділяють на три групи

- аварійно-хімічно небезпечні речовини (АХНР);
- постійно діючі хімічно небезпечні речовини (ПД ХНР);

– бойові хімічно небезпечні речовини (БХНР).

У мирний час та за умови надійного зберігання та ліквідації БХНР найбільшу небезпеку для населення становлять аварії на ХНО у сфері економіки з викидом АХНР. Ці небезпечні хімічні речовини проникають всередину організму людини з повітрям через органи дихання (інгаляційний шлях) та шкіру (резорбтивний шлях). Крім того, можливе попадання АХНР в організм через шлунково-кишковий тракт (перорально) і через поверхні ран. Найбільш небезпечний шлях – інгаляційний.

В даний час є двадцять одна АХНР інгаляційної дії, при ураженні якими потрібно вирішення завдань захисту населення та нормалізації хімічної обстановки. Ці речовини в атмосфері можуть бути у вигляді пари або газу, а також в аерозольному стані і в краплиннорідкому вигляді.

Аварії на хімічно небезпечних об'єктах відбуваються, як правило, раптово і характеризуються високою швидкістю формування та дії факторів, що вражають. Усе це підвищує значення превентивних заходів.

1. Планування захисту персоналу ХНО та населення при аваріях здійснюється відповідно до загальних положень планування стосовно даного виду НС. Особлива увага приділяється плануванню укриття населення в герметизованих приміщеннях, що проводиться у зоні забруднення, а також евакуації населення з об'єктів захисту з обґрунтуванням можливості проведення цього способу захисту.

2. Створення та підтримання у постійній готовності сил та засобів ліквідації аварії. Залежно від масштабу аварії до її ліквідації можуть бути залучені:

сили 1-го ешелону – аварійно-рятувальні формування ХНО, підрозділи постійної готовності міст, відомств;

сили 2-го ешелону – територіальні аварійно-рятувальні формування, хімічні підрозділи військ ЦЗ, хімічні та інженерні підрозділи Міноборони, підрозділи пошуково-рятувальної служби МНС, аварійно-рятувальні формування ЦЗ.

Особлива увага приділяється співробітників ХНО навчання населення, яке проживає в найнебезпечнішій 1,5–2 кілометровій зоні навколо ХНО. При цьому населенню пояснюються рекомендації щодо поведінки при отриманні оповіщення про хімічну небезпеку конкретного АХНР.

При отриманні інформації про потрапляння в атмосферу сильнодіючих отруйних речовин і про небезпеку хімічного зараження необхідно терміново надягнути засоби індивідуального захисту органів дихання, засоби захисту шкіри (накидки, плащі,) та укритися в першому сховищі або терміново покинути район аварії.

При відсутності засобів індивідуального захисту, відсутності сховища і неможливо вийти з аварійного району, необхідно залишатися в приміщенні, вимкнути радіоточку та чекати повідомлень штабу ЦЗ. Герметично закрийте двері і вікна, вентиляційні віддушини, димоходи,. Вхідні двері застелити шторами, ковдрами і будь-якими щільними тканинами. Герметично заклеїти щілини у вікнах, стики рам лейкопластиром, липкою плівкою або звичайним папером.

Категорично забороняється ховатися на перших поверхах багатоповерхових будинків, підвалах і напівпідвальних приміщення. Якщо аварія застала вас на вулиці то, почувши розпорядження про евакуацію, необхідно уважно прислуховуватися до вказівок та команд штабу ЦЗ. Покидаючи робоче вимкнути джерела електроенергії, візьміть з собою особисті документи, необхідні речі, надіньте протигаз або пов'язку, накидку або плащ та гумові чоботи.

Виходити із зони хімічного зараження необхідно в бік, перпендикулярний напрямку вітру. Уникати переходів через яри, тунелі, лощини тому що концентрація сильнодіючих отруйних речовин в низьких місцях вище.

Після виходу із зони зараження, терміново зняти верхній одяг та залишити його на вулиці, Вмитися з милом, прийняти душ, проволоскати рот та промити очі.

Особливості проведення рятувальних та ліквідаційних робіт в осередку хімічного ураження залежить від характеру зараження сильнодіючими хімічними отруйними речовинами. В епіцентрі хімічного зараження відсутні пожегів та розрухи, тому рятувальні роботи можуть обмежуватися до надання допомоги постраждалим та ураженим, їх термінової евакуації у медичні заклади, обмеженню та оточенню центрів ураження, знезараженню місцевості, будівель, а також санітарної обробки людей.

В першу чергу рятувальні роботи ведуть спеціальні зведені загони (команди) спеціального захисту, а якщо вони відсутні, то зведені загони загального призначення, яким виділяються спеціально сформовані загони хімічного захисту.

Для оточення осередку та недопущення розповсюдження хімічного зараження використовуються спеціальні формування загони охорони громадського порядку. Також на території, яка не піддалась зараженню, допоміжні роботи по ліквідації можуть вести формування служб, які не відносяться до служб хімзахисту.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. В ході проведеного літературного огляду існуючих моделей установок були виявлені наступні основні недоліки: неможливість за один експеримент отримати необхідні данні, дороговизна попередніх моделей, яка, в свою чергу, пов'язана зі складністю виробництва існуючих моделей, складність в обслуговуванні та роботі.

2. Був розроблений проект установки для дослідження коефіцієнту тертя за умов динамічного контактного навантаження, що дає змогу значно спростити процес проведення трибологічних експериментів. Установка дозволяє проводити експерименти з усіма багатьма видами металів (сталь, чавун, алюміній, бронза і т.д.), які в данні час застосовуються на виробництві. Виявлені: габаритні розміри установки 230x215x83 мм, розміри зразків: нижній: 40x31x8 мм, верхній: 30x20x5 мм. Основні характеристики: шлях, котрий пройшов верхній зразок після досягнення підвісом нижньої метрвої точки - s , Кут повороту підвісу - l , похибка кута розміщення верхнього зразка - w (для сталі становий в межах: $s - 3 - 7$ мм., $l - 10 - 70^\circ$, $w - 0,5 - 1^\circ$). Розроблені кресленики установки та зразків, а також розроблена 3-D модель установки для дослідження коефіцієнту тертя за умов динамічного контактного навантаження.

3. Розроблена методика проведення трифакторного експерименту з використанням програми «Виртуальная установка для исследования силы трения».

4. Виявлені потенційні небезпеки, та на основі документації по охороні праці розроблено організаційні та технічні заходи по їх мінімізації або усуненню.

5. Розроблено патент на установку для визначення коефіцієнту тертя за умов динамічного контактного навантаження.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ерин Ю. Сверхпроводимость уменьшает силу трения [Текст] / Ю. Ерин – М.: Машиностроение, 2000
2. Дерягин, Борис Владимирович. Что такое трение. [Текст] / Б.В. Дерягин. – Издательство Академии наук СССР, 1963.
3. Bowden F.P., Persson P.A. // Proc. Roy. Soc. Lond. 1961. V. A 260. P. 433—458.
4. Prakash V. Exp. Mech. [Text] / V. Prakash 1995. V. 35. N 4. P. 329-336.
5. Juanicotena A.. [Text] / A. Juanicotena, J. Phys IV France. 2006. V. 134. P. 559-564.
6. Lindholm U.S., Exp. Mech [Text] / Lindholm U.S, Yeakley L.M. 1968. V. 8. N 1. P. 1-9.
7. Анурьев, Василий Иванович. Справочник конструктора-машиностроителя: в 3 т. [Текст] / В.И. Анурьев – М.: Машиностроение, 1999.
8. Биргер, Исаак Аронович и др. Расчет на прочность деталей машин: Справочник. [Текст] / И.А. Биргер, Б.Ф. Шорр, Г.Б. Иосилевич. – 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 2017. 702 с
9. Komanduri R. / U.S. Machining and Grinding Research in the 20th Century [Text] / Komanduri R., Merchant M.E., Shaw M.C. Apl. Mech. Rev. 1993. 46. P. 69—132.
10. Prakash V., Time Resolved Dynamic Friction Measurement in Pressure—Shear [Text] / Prakash V., Clifton R. ASME. 1993. AMD—165. P. 33—48.
11. Prakash V. Pressure—Shear Plate Impact Experiment for Investigating Transient Friction [Text] / Prakash V Exp. Mech. 1995. 35. No. 4. P. 329—336.
12. Кольский Г. Волны напряжения в твердых телах. [Текст] / Г. Кольский – М.: Изд-во иностр. лит., 1955.

13. Николас Т. Поведение материалов при высоких скоростях деформации. Динамика удара [Текст] / Т. Николас [Под ред. С. С. Григоряна.] - М.: Мир, 1985. С. 198–256.

14. Брагин, Александр Михайлович. Экспериментальный анализ процессов деформирования и разрушения материалов при скоростях деформирования [Текст] / А.М. Брагин. – Автореф. дис. д-ра техн. наук. Н. Новгород: Нижегород. ун-т, 1998, 102–105 с –1.

15. Ясь, Дмитрий Сергеевич. Испытание на трение и износ. Методы и оборудование. [Текст] / Д.С. Ясь, В.Б. Подмоков, Н.С. Дяденко. — К.: Техника, 1971. — 140с.

16. Російський Федеральний ядерний центр—Всеросійський науково—дослідний інститут експериментальної фізики. Спосіб визначення статичного і динамічного коефіцієнтів зовнішнього тертя: пат. №2537745. Росія, Федеральне Державне унітарне підприємство " Російський Федеральний ядерний центр—Всеросійський науково—дослідний інститут експериментальної фізики" — ФГУП "РФЯЦ—ВНИИЭФ " _10.01.2015

17. Російський Федеральний ядерний центр—Всеросійський науково—дослідний інститут експериментальної фізики . Спосіб визначення динамічного коефіцієнта зовнішнього тертя між двома рухомими зразками: пат. № 2545073. Росія, Федеральне Державне унітарне підприємство " Російський Федеральний ядерний центр—Всеросійський науково—дослідний інститут експериментальної фізики" — ФГУП "РФЯЦ—ВНИИЭФ " _27.03.2015.

18. Російський Федеральний ядерний центр—Всеросійський науково—дослідний інститут експериментальної фізики. Спосіб визначення динамічного коефіцієнта зовнішнього тертя щодо обертається сферичної поверхні: пат. № 2565359. [Текст] / Росія, Федеральне Державне унітарне підприємство "Російський Федеральний ядерний центр—Всеросійський науково—дослідний інститут експериментальної фізики" — ФГУП "РФЯЦ—ВНИИЭФ""_20.10.2015. 20.

19. Хасанова С.Л. «Виртуальная установка для исследования динамического коэффициента трения» [Текст] /: С.Л. Хасанова, И.А Толстова ФГБОУ ВО Стерлитамакский филиал Башкирского государственного университета. 2015 г.
20. Дунаев, Петр Федорович. Конструирование узлов деталей машин: Учебное пособие для техн. Спец. Вузов [Текст] / П.Ф. Дунаев, О.П. Леликов - 6-е издание., исп. – М.: Высшая школа, 2000 -447с.
21. Гордин, Павел Вадимович. Детали машин и основы конструирования [Текст] / П.В. Гордин, Е.М. Росляков - М: Учебное пособие – СПб: СЗТУ, 2004 – 109с.
22. Заблонский, Константин Иванович. Детали машин [Текст] / К.И. Заблонский – К.: Вища школа, 1983.- 518с.
23. Перель, Леонтий Яковлевич. Подшипники качения [Текст] / Л.Я Перель. – Расчет, проектирование и обслуживание опор: Справочник. – М: Машиностроение, 1983.- 543с.
24. Васильев, Леонид Сергеевич. Автомобильные эксплуатационные материалы. [Текст] / Л.С. Васильев. - М.: Наука-Пресс, 2004. - 421 с. Учеб. для вузов. Изд. 2-е.
25. Крагельский, Игорь Викторович. Добчин М.Н., Комбалов В.С. Основы расчетов на трение и износ [Текст] / И.В. Крагельский, М.Н. Добытчин, В.С. Комбалов — М.: Машиностроение, 1977. — 526с.
26. Крагельский, Игорь Викторович. Узлы трения машин. Справочник. [Текст] / И.В. Крагельский, Н.М. Михин — М.: Машиностроение, 1984. — 280с.
27. Маслов, Геннадий Григорьевич. Оптимизация параметров и режимов работы машин методами планирования эксперимента: Учебн. пособие для сельскохозяйственных вузов [Текст] /. Г.Г. Маслов, О.Н. Дидманидзе, В.В. Цибулевский. – М: УМЦ «Триада», 2007. – 292 с., ил. 3.
28. Адлер, Юрий Павлович Введение в планирование эксперимента. [Текст] /. Ю.П. Адлер . – М, «Металлургия», 1969.

29. ПУЕ-2017. Правила улаштування електроустановок. [На заміну ПУЕ-86 ; чинний з 2017-08-21]. К. : Міненерговугілля України, 2017. 617 с.

30. НПАОП 40.1-1.01-97. Правила безпечної експлуатації електроустановок. [На заміну НАОП 1.1.10-1.01-85 ; чинний з 1997-10-06]. К. : Держнаглядохоронпраці, 1997. 97 с. (Нормативно-правовий акт охорони праці)

31. Про оцінку умов праці на робочих місцях і порядок застосування галузевих переліків робіт, на яких можуть установлюватися доплати робітникам за умови праці, [Електронний ресурс]. – Чинний від 1986-10-03. – М. : Держкомпраці СРСР ; Секретаріат ВЦСПС, 1986. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/v2-78400-86>. – (Типове положення)

32. ДСанПіН 3.3.2.007-98. Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин. [Чинний від 1998-12-10]. К. : МОЗ України, 1998. URL: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=2445>. (Державні санітарні правила та норми).

33. Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроям [Електронний ресурс] : НПАОП 0.00-7.15-18. – На заміну НПАОП 0.00-1.28-10 ; чинний від 2018-05-18. – К. : Мінсоцполітики України, 2018. – 6 с. – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0508-18>. – (Нормативно-правовий акт охорони праці)

34. Жидецький В. Ц. Основи охорони праці [Текст] : підручник / В. Ц. Жидецький. – 5-те вид., доп. – К. : Знання, 2014. – 373 с. + 1 ел. опт. диск (CD-ROM). – ISBN 978-617-07-0134-3

35. Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу, [Електронний ресурс]. – На заміну ГН 3.3.5-8.6.6.1-2002 ; чинний від 2014-05-30. – К. : МОЗ України, 2014. – 37 с. – URL:

<http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0472-14>. – (Державні санітарні норми та правила)

36. Методичні вказівки до виконання розділу «Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях» в магістерських дипломних роботах зі спеціальності 131 «Прикладна механіка» (освітня програма «Технологія машинобудування»); 133 «Галузеве машинобудування» (освітня програма «Металорізальні верстати та системи»); 134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка» (освітня програма «Авіаційні двигуни та енергетичні установки», «Технології виробництва авіаційних двигунів та енергетичних установок») / Укл. : В.І. Шмирко – Запоріжжя: ЗНТУ, 2018 – 28 стор.

Додаток 1
Специфікація до складального кресленика

Формат Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Примітки	
						Лист
<u>Документація</u>						
А3			Складальний кресленик			
			Складальні одиниці			
А3	1		Основа зварна	1		
А3	2		Підвіс зварний	1		
<u>Деталі</u>						
А4	3		Зразок нижній	1		
А4	4		Зразок верхній	1		
А4	5		Центр рухомий	1		
А4	6		Вісь	1		
А4	7		Кільце розпорне	2		
<u>Стандартні вироби</u>						
	4		Болт М6-6dх28 ГОСТ 7798-70	4		
	9		Гайка М6-6Н ГОСТ 5927-70	8		
	10		Шайба А 6.37 ГОСТ 10450-78	4		
	11		Шайба 6Л ГОСТ 6402-70	4		
	12		Підшипник 60101 ГОСТ 7242-81	2		
<u>Інші вироби</u>						
		5 арт. 16081997	Датчик ЗЛ-13/26	1		
№ лист	№ докум.	Підпис	Дата	Лит.	Лист	Листів
Резані	Тарасюк	<i>[Signature]</i>	19.12	А		1
Генерал	Шиганов			М-210м		
Інженер	Рибіска					
Завід.	Шиганов					