

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

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 Дослідження процесів зношування
підімерних матеріалів з урахуванням
динаміки навантаження

Виконав: студент(ка) _____ курсу, групи МЗ-219м

Спеціальності 133 Галузеве машинобудування
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

металорізальні верстати

та системи

(прізвище та ініціали)

Керівник Івченко Л.Й.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Лушко Р.В.

(прізвище та ініціали)

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

Інститут, факультет Машинобудівний
Кафедра металорізальні верстати та інструменти
Ступінь вищої освіти магістр
Спеціальність 133 галузеве машинобудування
(код і найменування)
Освітня програма (спеціалізація) металорізальні верстати та системи
(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ЛВТАУ
Григор'єв В.В.
«16» 12 2020 року

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

Киригенько Олександр Вікторович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Дослідження процесів зношування полімерних матеріалів з урахуванням динаміки навантаження

керівник проекту (роботи) Івченко П.П. професор
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від «06» листопада 2020 року №307

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 12 грудня 2020 року

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Матеріал для досліджень - поліаксиметилен; навантаження у контакт 0-500Н; швидкість переміщення зразка 0-10 см/с; зернистість шкурки Р60-Р120 з флажок 265-115 мм; довж. зразка - 500 мм, частота переміщ. електроду 2030 Гц, частота обертання шарики 5-8 об/хв.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Провести аналіз літерат. джерел з питань зношування полімерів;

2. Розробити установку для дослідження абразивного зношування полімерів за умов динамічного контактного навантаження

3. Підготувати матеріали для отримання патенту на винахід

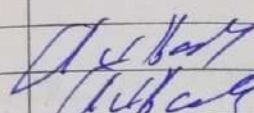
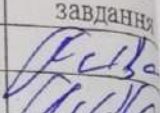
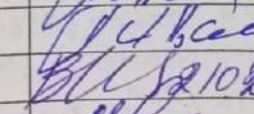
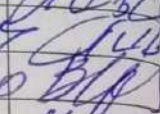
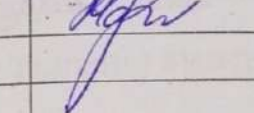
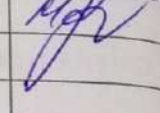
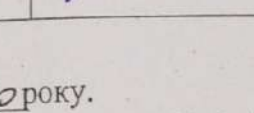
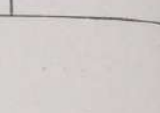
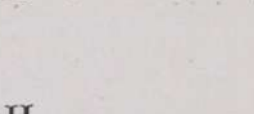
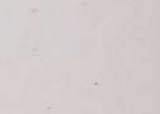
4. Розробити методологію випробувань на зношування полімерних матеріалів

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1. Схема установки для дослідження зношування

2. Зразок для випробувань на зношення

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконання завдання
1	Івченко Л.І. д.т.н., проф.		
2	Івченко Л.І. д.т.н., проф.		
3	Івченко Л.І. д.т.н., проф.		
4	Шмирко В.І. к.т.н., доц		
нормоконтроль	Матвеев Л.С. ст. викладач		

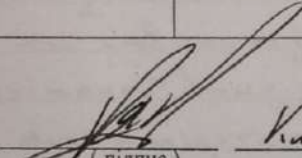
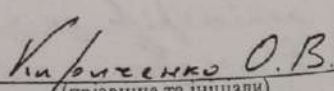
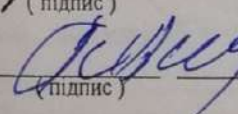
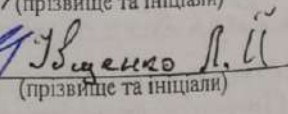
7. Дата видачі завдання « 01 » вересня 2020 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітки
1	Аналіз літератури. Огляда з питань дослідження процесів зношування полімерних матеріалів	30.09.2020	
2	Аналіз установок для дослідження полімерів на знос	09.10.2020	
3	Розробка конструкції установки для виробництва на зношування полімерів з урахуванням динаміки навантаження	30.10.2020	
4	Розрахунок та вибір складових елементів установки	13.11.2020	
5	Гідготовка матеріалів заявки на отримання патенту	23.11.2020	
6	Розробка методології дослідження зношування полімерних матеріалів	07.12.2020	

Студент(ка)

Керівник проекту (роботи)

 (підпис)  (прізвище та ініціали)
 (підпис)  (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Звіт про маг. роботу: 122 с., 4 розд., 8 табл., 29 рис., 4 дод., 27 джерел.

ПОЛІМЕРИ, ТЕРТЯ ЕЛАСТОМІРІВ, АБРАЗИВНИЙ ЗНОС,
ОБЛАДНАННЯ, ЕКСПЕРИМЕНТ, ДОСЛІДЖЕННЯ

Об'єктом дослідження є полімери – їх властивості та поведінка у процесі зношування.

Мета магістерської роботи – розглянути наявну літературу за темою тертя еластомірів, розробити методологію та устаткування для дослідження абразивного зношування з урахуванням динаміки навантаження.

Метод дослідження – фізичне моделювання процесу зношування полімерних матеріалів за умови динамічного навантаження.

В результаті виконання роботи було отримано наступні наукові результати:

Визначено, що тема дослідження зношування еластомірів підіймалася неодноразово, але все ще є нагальною проблемою.

Досліджено основні види експериментальних установок та пристроїв для дослідження полімерів на абразивний знос.

За відсутності устаткування для вивчення вищезазначеної проблеми, була розроблена «Установка для випробувань на зношування полімерних матеріалів».

За допомогою розробленої установки можуть бути отримані нові знання щодо абразивного зносу еластомірів та розширено межі їх використання.

ЗМІСТ

		C.
Вступ.....		7
1	Аналіз літературних джерел з питань експериментальних досліджень процесів зношування полімерних матеріалів.....	9
1.1	Загальна характеристика композиційних матеріалів та пластмас.....	9
1.2	Основні характеристики наповнювачів для композиційних матеріалів.....	13
1.3	Основний механізм тертя.....	14
1.4	Властивості полімерів за умови тертя.....	17
1.5	Знос та стирання.....	22
1.6	Вимірювання зносу.....	22
1.7	Експериментальні установки для дослідження полімерів на абразивний знос.....	24
1.7.1	Установка з диском, що обертається.....	25
1.7.2	Пристрій з пласким ремнем.....	27
1.7.3	Машина для випробувань на знос та стирання.....	29
	Висновки до розділу 1.....	32
2	Розробка установки для дослідження зношування полімерних матеріалів.....	33
2.1	Вибір мотор-редуктора.....	39
2.2	Соленоїд.....	46
2.3	Розрахунок ходового гвинта.....	48
	Висновки до розділу 2.....	51
3	Методика проведення експериментальних досліджень.....	52
3.1	Математичне планування експерименту.....	52
3.2	Матеріали для досліджень. Зразки. Навантажувальні фактори.....	56

3.3	Проведення експерименту	60
3.4	Методика визначення зносу	62
3.5	Статистичний аналіз повного факторного експерименту	66
3.6	Обробка результатів експерименту	69
3.7	Методи графічного зображення результатів вимірювань	73
3.8	Оцінка результатів вимірювань, які містять грубі помилки	79
	Висновки до розділу 3.....	82
4	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	84
	Висновки до розділу 4.....	84
	Висновки.....	85
	Перелік джерел посилання.....	87
	Додаток А Витяг з Протоколу засідання НТР УГТ АТ «Мотор Січ» про доцільність патентування корисної моделі.....	90
	Додаток Б Матеріали заявки на винахід (корисну модель)	92
	Додаток В Розрахунок параметрів різі	102
	Додаток Г Зразок	107
	Додаток Д	108

ВСТУП

Трибологія – наука, розділ фізики, який займається дослідженням та описом контактної взаємодії твердих тіл, що деформуються при відносному переміщенні. Областю трибологічних досліджень є процеси тертя, зношення та змащування.

Слово трибологія походить від грецького кореня $\tau\rho\iota\beta\omicron$ - дієслова $\tau\rho\iota\beta\omega$ (трибо), буквально «терти, натирати». Вперше воно було використане англійським фізиком Девідом Тейбором (англ. David Tabor), а також Пітером Джостом (англ. Peter Jost) у 1964 році, експертом зі змащування, який звернув увагу на проблеми, пов'язані з підвищеним тертям у машинах та ввів нову дисципліну – трибологію [1].

Але, що ж таке тертя? Тертя – процес механічної взаємодії тіл, які торкаються одне одного при їх відносному зміщенні у площині торкання (зовнішнє тертя), або при відносному зміщенні паралельних шарів рідини, газу, або твердого тіла, що деформується (внутрішнє тертя чи в'язкість). Далі під тертям розуміють лише зовнішнє тертя [2].

Трибологія вивчає безпосередньо процеси тертя, а триботехніка – їх застосування у вузлах машин. В останні роки у триботехніці отримали розвиток нові розділи – трибохімія, трибофізика та трибомеханіка.

Після вивчення наявної літератури, було зроблено висновок: тема тертя еластомірів з урахуванням динамічного навантаження наразі є дуже важливою. Навіть теоретичної методики дослідження саме цієї теми знайдено не було. Тому у наданій роботі була спроба розробки засобів та методів дослідження абразивного тертя еластомірів.

Метою роботи є розгляд наявної літератури за темою тертя еластомірів, розробка методології та устаткування для дослідження абразивного зношування з урахуванням динаміки навантаження.

Об'єктом дослідження є полімери – їх властивості та поведінка у процесі абразивного тертя.

Метод дослідження – моделювання процесу зношування полімерних матеріалів за умови динамічного навантаження.

В результаті виконання роботи було отримано наступні наукові результати:

Визначено, що тема дослідження зношування еластомірів підіймалася неодноразово, але все ще є нагальною проблемою.

Досліджено основні види експериментальних установок та пристроїв для дослідження полімерів на абразивний знос.

За відсутності устаткування для вивчення вищезазначеної проблеми, була розроблена «Установка для випробувань на зношування полімерних матеріалів». Розроблена форма зразків для дослідження та метод запропоновано методику визначення зносу.

За допомогою розробленої установки можуть бути отримані нові знання щодо абразивного зносу еластомірів та розширено межі їх використання.

1 АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ З ПИТАНЬ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОЦЕСІВ ЗНОШУВАННЯ ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ

1.1 Загальна характеристика композиційних матеріалів та пластмас

Композиційні матеріали, або композити - це матеріали, що складаються з двох або більше компонентів і мають властивості, відмінні від сумарних властивостей компонентів. При цьому передбачається, що компоненти, що входять до складу композиту, повинні бути добре сумісними і не розчинятися чи іншим способом поглинати один одного. У широкому сенсі композиційний матеріал - це будь-який матеріал з гетерогенною структурою, тобто, зі структурою, що складається мінімум з двох фаз.

Таке визначення дозволяє віднести до композиційних матеріалів абсолютну більшість металевих матеріалів, оскільки вони або навмисно створюються багатофазними, або вважаються однофазними, але в них є неметалеві включення. Полімерні матеріали також можна віднести до композитів, оскільки крім основного компонента (полімеру) в них присутні різні наповнювачі, барвники та ін. Матеріали природного походження (кістки людини і тварин, деревина) також можна віднести до композиційним. Наприклад, деревина є композицією з пучків целюлозних волокон трубчастої будови, скріплених матрицею з органічної речовини - лігніну.

Для того щоб виділити композиційні матеріали (КМ) штучного походження, підкреслити їх характерні особливості найбільш повним вважається визначення, згідно з яким до композитів відносяться матеріали, що володіють рядом ознак [3]:

- склад, форма і розподіл компонентів матеріалу «запроектовані заздалегідь»;
- матеріал не зустрічається в природі, а створений людиною;

- матеріал складається з двох або більше компонентів, що розрізняються за хімічним складом і розділених вираженою межею;
- властивості матеріалу визначаються кожним з його компонентів, які повинні бути присутніми в матеріалі в досить великих кількостях (більше деякого критичного вмісту);
- матеріал володіє такими властивостями, яких не мають його компоненти, взяті окремо;
- матеріал неоднорідний в мікрмасштабі і однорідний в макромасштабі.

Першими прикладами наукового підходу до створення штучних композиційних матеріалів вважають появу залізобетону і склопластиків. Залізобетон складається зі сталевих арматур і бетону, відмінно сприймає стискаючі навантаження і дуже погано чинить опір розтягують напруженням. При поєднанні бетону і металу у вигляді сталевих прутків, певним чином розташованих у виробі і добре сприймають навантаження, що розтягують, виходить залізобетон, що поєднує якості обох компонентів [4].

Перший патент на полімерний композиційний матеріал, що містить армовану природними волокнами синтетичну смолу, виданий в 1909 р.

Основу пластмас [14] складають полімери, ланцюжки молекул яких мають довжину 10^{-9} – 10^{-6} м, при цьому ці ланцюжки взаємно багаторазово переплітаються. Ці матеріали виготовляють з природних або ж синтетичних полімерів шляхом поліконденсації, полімеризації або ступінчастої полімеризації. У таблиці 1.1 наведена класифікація натуральних та синтетичних пластмас.

Хоча механічні та термічні властивості пластмас гірші, ніж у металів, наприклад, на основі заліза та нікелю, але завдяки своїй властивості знижувати знос та забезпечувати самозмащування вони використовуються у техніці, особливо при виготовленні деталей, що працюють у середовищах, з абразивним та корозійним впливом. Пластмаси менш чутливі до відсутності змащувального матеріалу або до перерв у його наданні. В останній час пластмаси все частіше використовують у якості твердих змащувальних матеріалів, а також для покриттів. Також пластмаси використовують в якості сполук для поліпшення

зчеплення твердих змащувальних матеріалів. Однак при використанні пластмас необхідно враховувати наступне [15].

Таблиця 1.1 - Класифікація натуральних та синтетичних пластмас за Павелеском

- | | |
|-------|--|
| 1 | Натуральні пластмаси |
| 1.1 | Термореактивні протеїни |
| 1.2 | Термопласти-целюлози |
| 2 | Синтетичні пластмаси |
| 2.1 | Продукти поліконденсації |
| 2.1.1 | Термореактивні продукти поліконденсації: |
| | - феноляти |
| | - амінопласти |
| | - поліефіри |
| | - силікони |
| 2.1.2 | Продукти поліконденсації у вигляді термопластів: |
| | - поліаміди |
| | - поліефіри |
| | - амінопласти |
| | - полікарбонати |
| 2.2 | Полімеризати |
| 2.2.1 | Термореактивні полімеризати |
| | - поліефіри |
| 2.2.2 | Полімеризати у вигляді термопластів |
| | - полівінілхлорид |
| | - полістирол |
| | - поліетилен |
| | - поліакрилати |
| | - поліфторолефіни |
| | - полівінілвуглець |
| 2.3 | Продукти ступінчастої полімеризації |
| 2.3.1 | Термореактивні продукти ступінчастої полімеризації |
| | - епоксидна смола |
| | - поліуретан |
| 2.3.2 | Продукти ступінчастої полімеризації у вигляді термопластів |
| | - поліуретан з лінійною структурою молекул |

Для тонких полімерних плівок питомий тиск не повинен перевищувати тиск текучості. Так для шару тефлону товщиною 0,12–0,25 мм тиск не повинен перевищувати 2,4–4,2 МПа.

При високих температурах поверхонь тертя використання силікатів, боратів, фосфатів та карбідів більш доцільно, аніж використання пластмас.

При відсутності або малій вірогідності виникнення гідродинамічного режиму змащування більш переважні термопласти, аніж метали. При напіврідинному змащуванні та малих швидкостях ковзання ($v < 1$ м/с) щонайменше для однієї з поверхонь тертя рекомендується у якості покриття використовувати термопласти.

Щільні пластмаси краще використовувати у якості матеріалів для покриття, аніж для виготовлення елементів сполучень, що труться, тому, що процес руйнування в елементах починається в шарах, які знаходяться на більш суттєвій глибині від поверхні тертя. Пластмасове покриття основного матеріалу, що має значну твердість, забезпечує позитивний градієнт межі міцності при зсуві в елементі пари тертя та, отже, його високу зносостійкість.

За виключенням політетрафторетиленів, при середніх значеннях номінального тиску, швидкості ковзання та температурі коефіцієнти тертя пар пластмаса-пластмаса близькі до аналогічних параметрів для пар метал-пластмаса. Це може бути пояснено за допомогою адгезійної теорії тертя, що була запропонована Боуденом та Тейбором. У таблиці 1.2 наведені коефіцієнти тертя для деяких пар тертя:

Таблиця 1.2 - Коефіцієнти тертя для пар пластмаса по металу

Пластмаса по металу	Коефіцієнт тертя
Полівінілхлорид	0,4 – 0,5
Поліетилени	0,6 – 0,8
Нейлон	0,2 – 0,4
Політетрафторетилен	0,05 – 0,3

Пластмаси дуже часто також знаходять своє використання за необхідності виконання спеціальних вимог до хімічних або електричних властивостей поверхонь тертя.

Проведені дослідження , які відносяться до природи тертя, підтвердили гіпотезу про наявність адгезійних явищ (адгезійних мікропереходів). Відповідно до цієї гіпотези сила тертя є наслідком зрізу адгезійних зв'язків між тілами, що контактують. При терті пластмас по металам були встановлені як перенос пластмаси на металеве тіло, так і навпаки. Таким чином, при терті зносу піддається й більш тверде металеве тіло. Частки зносу у деяких випадках можуть суттєво вплинути на силу тертя. Важливе значення при терті полімерів має явище пружного гістерезису. У загальному випадку сила тертя має велику залежність від швидкості ковзання й температури, які визначають в'язкі та пружні властивості полімерів.

За результатами експериментів були надані різні емпіричні залежності сили тертя F_T від нормальної сили F_N [16]. Так за Гнаденом

$$F_T = a'F_N + b'F_N^{n'}, \quad (1.1)$$

де a' , b' та n' - параметри, які залежать від поєднання матеріалів та умов напруження.

Макінсоном було надано інший двочленний вираз

$$F_T = a''F_N + b''F_N^{n''}. \quad (1.2)$$

1.2 Основні характеристики наповнювачів для композиційних матеріалів

Полімерні наповнювачі – це тверді, рідкі, або газоподібні неорганічні чи органічні речовини, які розподіляються у безперервній фазі матриці (полімеру) та утворюють з нею гетеро фазну систему з вираженою межею поділу фаз. Наповнювачі у полімер вводять для створення нових полімерних матеріалів з цінними експлуатаційними властивостями; з метою поліпшення технологічних

властивостей; отримання декоративних дефектів; здешевлення матеріалів або ж утилізації відходів та вирішення екологічних завдань [5]. Основні види полімерних наповнювачів: дисперсні (крейда, азбест, гідроксид алюмінію та ін.), волокнисті (металеві, скляні, вуглецеві, органічні, керамічні, борні), листові (папір, тканини, полотна, неткані матеріали) та об'ємні (каркасні системи, об'ємні тканини).

1.3 Основний механізм тертя [6]

Розглянемо умову контакту між шорсткою твердою поверхнею та еластоміром, що до неї притиснутий навантаженням W (рисунок 1.1). Зазвичай еластомір наслідує контури базової поверхні, фізично обгортаючи її базові нерівності, та на плямах дотику у еластомірі виникають пружні тиснення. Навантаження підтримується цими індивідуальними контактами у відповідності із співвідношенням

$$W = \sum_{i=1}^M A_i p_i = \bar{p} A, \quad (1.3)$$

де $\bar{p}$ - середній тиск на нерівності, а A - повна фактична площа контакту, яка розраховується за формулою

$$A = KM \left(\frac{\bar{p}}{E} \right)^n. \quad (1.4)$$

Тут K - стала, E - модуль пружності еластоміра та $n \rightarrow 1$ у більшості практичних випадків [6].

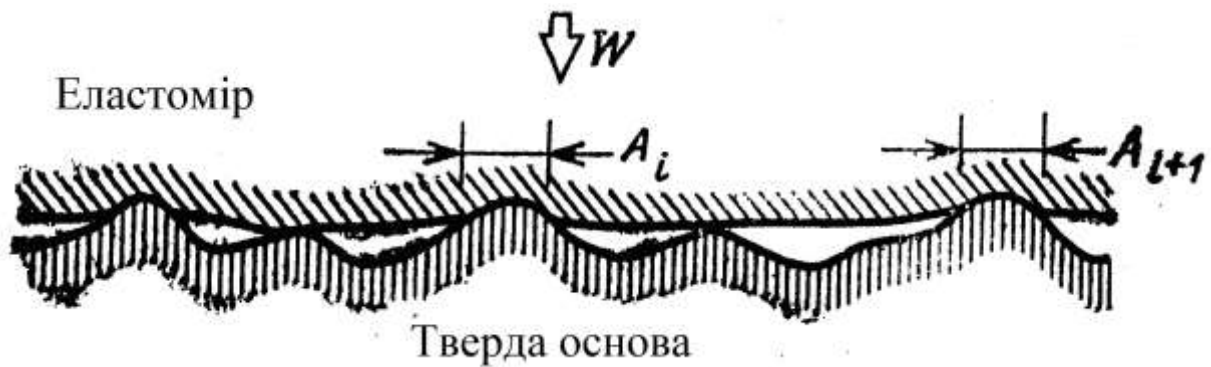


Рисунок 1.1 - Контакт між еластоміром та твердою основою

Якщо ж тепер спробувати зрушити верхню поверхню у площині торкання, докладаючи тангенціальну силу F , то у місцях контакту будуть розвиватися адгезійні сили, та при відсутності відносного руху поверхонь можна написати рівняння рівноваги сил

$$F = \sum_{i=1}^M F_i, \quad (1.5)$$

де F - прикладена сила, а F_i - адгезійні сили опору.

Цю умову відображено на рисунку 1.2, та сили адгезії F_i обумовлені взаємодією поверхневих молекул на поверхні дотику.

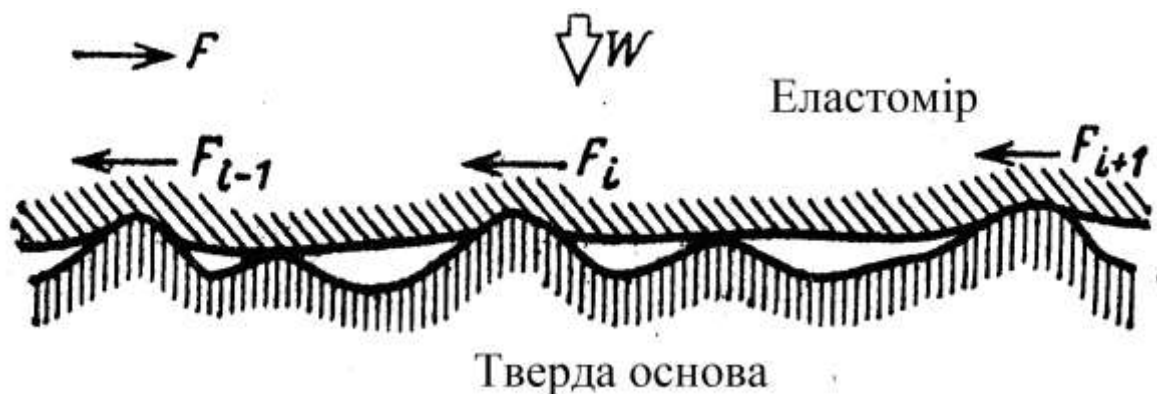


Рисунок 1.2 - Сили тертя покою на плямах дотику

Будемо збільшувати силу F до тих пір, поки не встановиться ковзання із постійною швидкістю V на межі еластомір – тверде тіло. Тепер сила опору F буде складатися з адгезійної та деформаційної складових відповідно до виразу

$$F = F_{адз} + F_{деф} \quad (1.6)$$

для загального випадку ковзання. Деформаційна складова обумовлена запізненням відновленням еластоміра після впровадження нерівності та зводиться до гістерезисної складової тертя. Відповідно, можна написати наступне

$$F_{деф} = F_{гист}; \quad (1.7)$$

тому вираз (1.4) перетворюється у наступне:

$$F = F_{адз} + F_{гист} \quad (1.8)$$

На рисунку 1.3 зображено загальну природу адгезійної та гістерезисної складової у виразі (1.6). Видно, що адгезія має явно виражений поверхневий ефект, у той час як гістерезис це об'ємне явище, яке залежить від пружних та в'язкопружних властивостей еластоміра.

Якщо розділити обидві частини виразу (1.6) на навантаження W , то отримаємо наступне співвідношення:

$$f = f_A + f_H \quad (1.9)$$

Тут $f_A = F_{адз}/W$ - коефіцієнт адгезійного тертя та $f_H = F_{гист}/W$ - коефіцієнт гістерезисного тертя. Обидва коефіцієнти є результатом дисипації енергії, що

призводить до значного підвищення температури як на граничній поверхні тертя, так і зсередини об'єму ковзаючих тіл.

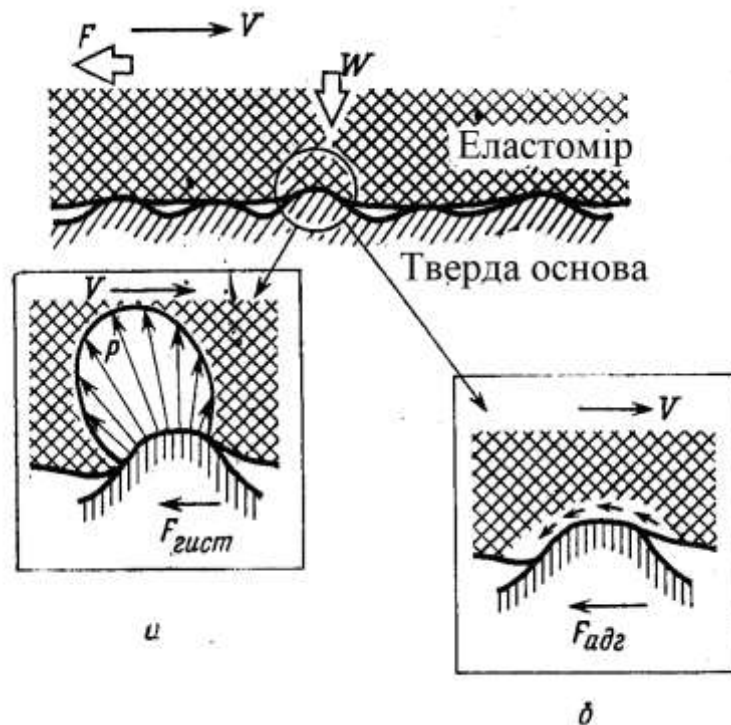


Рисунок 1.3 - Основні складові тертя еластомера
а – деформація або гістерезис; б – адгезія.

На величини f_A та f_H можна вплинути зміною умов експерименту.

Деформаційна (гістерезисна) складова практично виключається у випадку гладких поверхонь. Адгезійна складова також може бути знижена, коли поверхня ковзання змащена. У останньому випадку мастило ефективно пригнічує молекулярно-кінематичну взаємодію, яке викликає адгезію ковзаючих поверхонь.

1.4 Властивості полімерів за умови тертя

Коефіцієнт тертя та знос пластмас за умови тертя дуже сильно залежать від температури, швидкості ковзання та тиску, а також від шорсткості більш твердого тіла у парі, що треться [14]. При відносно більших швидкостях та

одночасно більших тисках внаслідок розігріву поверхонь тертя може статися їх розм'якшення або навіть зварювання.

При температурах, які вище зазначеної граничної температури $T_{гр}$ інтенсивність зношування та коефіцієнт тертя у всіх пластмас дуже швидко зростають (рисунок 1.4). Зазначимо, що ці залежності не завжди співпадають. Залежність коефіцієнта тертя від швидкості та температури здебільшого визначається складом пластмаси. Якщо температура на поверхні тертя зберігається постійною, то швидкість ковзання має незначний вплив на коефіцієнт тертя.

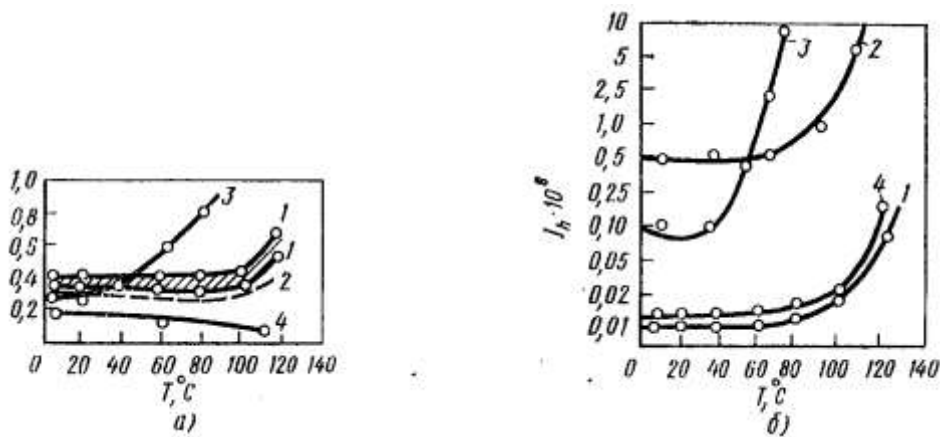


Рисунок 1.4 - Залежність коефіцієнту тертя (а) та інтенсивності зношування (б) від температури:

1 – нейлон 6,6; 2 – полі формальдегід; 3 – поліетилен високої щільності;
4 – нейлон 6,6 з вмістом поліетилену 10% при $v=0,6\text{м/с}$, $p_a=0,5 \cdot 10^4$ Па,
шорсткість сталевого контртіла $R_a=2\text{мкм}$ [17]

Для пластмас 1, 2 та 4 (рисунок 1.5) не рекомендується перевищувати температуру 80°C , для пластмас 3 - 50°C .

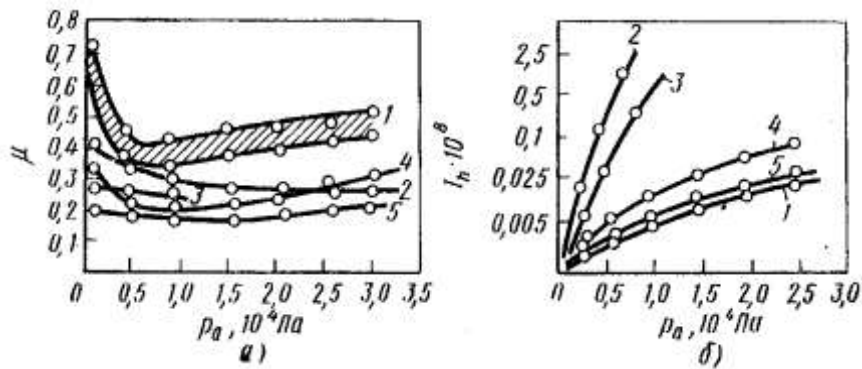


Рисунок 1.5 - Залежність коефіцієнта тертя (а) та інтенсивності зношування (б) від номінального контактного тиску:

1 – нейлон 6,6; 2 – поліформальдегід; 3 – поліетилен високої щільності;
4 – полі формальдегід з вмістом фторопласта 22%; 5 – нейлон 6,6 з вмістом поліетилена 10% при $v=0,6\text{ м/с}$, $T_{\text{пов}} \approx 40^\circ\text{C}$, шорсткість сталевого контртіла $R_a=2\text{ мкм}$ [17]

Вплив тиску на коефіцієнт тертя та інтенсивність зношування показано також на рисунку 1.5. Як видно з рисунка, у багатьох випадках коефіцієнт тертя спочатку суттєво знижується при підвищенні тиску. Його мінімальне значення відповідає певному початковому зносу, який викликає ефект самозмашування, після чого коефіцієнт тертя зростає з підвищенням контактного тиску. На практиці коефіцієнт тертя у підшипниках кочення з пластмасовим покриттям на вкладиші в області напіврідинного тертя у більшості випадків коливається в межах 0,08 (в залежності від характеристик змащувального матеріалу та температурних умов).

У випадку пари тертя пластмаса-метал значний вплив на коефіцієнт тертя має шорсткість металевої поверхні. Характер залежності коефіцієнта тертя та інтенсивності зношування від шорсткості, за Драйєром та Штрікле, показано на рисунку 1.6.

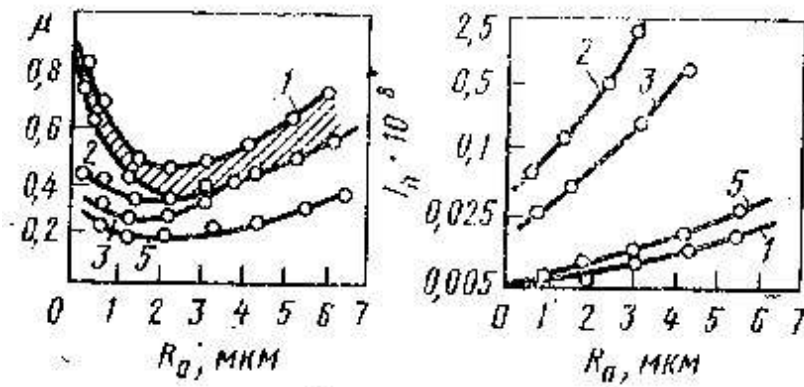


Рисунок 1.6 - Залежність коефіцієнта тертя та інтенсивності зношування від шорсткості поверхні [17]

У таблиці 1.3 наведені значення щільності, твердості, а також приблизні значення коефіцієнта тертя при терті із змащувальним матеріалом та без нього для деяких пластмас при $p_a = (0,5 \div 2,5) \cdot 10^4$ Па та $v = 2,5 \div 200$ м/хв.

Досліди показали, що незважаючи на відносно високі електричні напруги, які з'являються при терті пластмас, вони несуттєво впливають на силу тертя. Наприклад, при терті сталеві кульки по нейлону номінальна площа контакту на протязі 15 хв збільшується на 40%. Сила тертя за цей час збільшується також на 40% без зміни інших умов. Звідси видно пропорційність сили тертя та площі контакту [16].

Таблиця 1.3 - Орієнтовне значення коефіцієнтів тертя при терті пластмас із змащувальним матеріалом та без нього при $p_a = (0,5 \div 2,5) \cdot 10^4$ Па та $v = 2,5 \div 200$ м/хв. (за Павелеском [16])

Матеріал	Щільність, кг/дм ³	Твердість за Роквеллом	Коефіцієнт тертя	
			без змащувального матеріалу	із змащувальним матеріалом
ПТФЕ	2,10	25	0,09-0,21	0,04-0,06
Рулон	2,14	10,5	0,12-0,19	0,04-0,06
ПТФЕ-MoS ₂ (1:1)	2,07	63	0,13-0,21	0,04-0,06
ПТФЕ-MoS ₂ (3:1)	2,41	33	0,13-0,22	0,05-0,06
ПТФЕ-графіт (1:1)	2,88	42	0,12-0,19	0,05-0,07
ПТФЕ-графіт (3:1)	2,12	52	0,12-0,19	0,04-0,06
ПТФЕ-асбест (3:1)	2,11	60,6	0,14-0,21	0,04-0,05
Ацетат целюлози	1,24	78	0,18-0,53	0,08-0,16
Ацетобутират целюлози	1,13	72	0,17-0,32	0,07-0,14
Етилцелюлоза	1,21	69	0,22-0,57	0,07-0,16
Cel-F	2,06	63	0,17-0,25	0,08-0,15
Метакрилат	1,16	89	0,16-0,47	0,10-0,19
Нілатрон G	1,14	84	0,22-0,33	0,08-0,13
Нейлон	1,14	85	0,15-0,33	0,09-0,14
Поліетилен	1,89	35	0,17-0,40	0,04-0,09
Полістирол	1,02	81	0,12-0,45	0,06-0,13

1.5 Знос та стирання

Можна виділити три різні механізми зносу при ковзанні еластомера по твердій основі та всі вони значною мірою залежать від наявності та природи шорсткості основи [8].

а) Абразивний знос. Гострий профіль поверхні основи викликає стирання та вирви еластомера, що ковзає. На еластомері, що стирається, видно мікро порізи та подовжні подряпини.

б) Знос втомлення. Якщо поверхня основи має округлення, а не гострі вершини, то поверхня еластомера зазнає циклічної деформації, та, нарешті, настає руйнування через втомленість.

в). Утворення роликів. На гладенькій поверхні виникає новий механізм зносу [7], властивий особливо еластичним матеріалам, що викликає утворення роликів на поверхні ковзання та потім відрив роликподібної частки.

Зауважимо, що абразивний та втомний знос виникає на грубих поверхнях, а утворення роликів для гладеньких поверхонь, що мають високий коефіцієнт тертя. Абразивний знос та утворення роликів зазвичай викликають значні пошкодження поверхні, знос втомлення – відносно помірні. Проте знос втомлення переважає у більшості пар ковзання та зазвичай потребує відносно малого коефіцієнту тертя між еластомером та поверхнею, що стирає.

Основними параметрами, що мають вплив на знос, є тиск, модуль пружності, міцність та втомна стійкість еластомеру.

1.6 Вимірювання зносу та інтенсивності зношування

Знос можна виміряти, як втрату маси, а також як зміну об'єму або розміру одного чи двох елементів пари ковзання. Запропоновані та використовуються наступні шість критеріїв зносу [8].

1. Лінійна інтенсивність зносу

$$K_L = \frac{h}{L}, \quad (1.10)$$

де h - товщина знятого шару

L - шлях ковзання.

2. Об'ємна інтенсивність зносу

$$J_v = \frac{\Delta v}{LA_a}, \quad (1.11)$$

де Δv – об'єм знятого шару;

L - шлях ковзання;

A_a – номінальна площа.

3. Енергетична інтенсивність зносу (енергетичний показник стирання)

$$J_w = \frac{\Delta v}{F_L}, \quad (1.12)$$

де Δv – об'єм знятого шару;

F_L – робота сил тертя.

4. Вагова інтенсивність зносу

$$J_q = \frac{\Delta W}{LA_a}, \quad (1.13)$$

де ΔW – вага знятого шару;

L – шлях ковзання;

A_a – номінальна площа.

5. Стираність

$$\gamma = \frac{\Delta v}{F_L} = \frac{\Delta v}{fWL} = \frac{\Delta v/WL}{f} = \frac{A'}{f}, \quad (1.14)$$

де Δv – об'єм стертого матеріалу;

F_L – робота сил тертя.

6. Коефіцієнт абразивної стійкості.

$$\beta = \frac{1}{\gamma} = \frac{1}{K_E} = \frac{1}{A'}. \quad (1.15)$$

Тут L – шлях ковзання, F – сила тертя, f – коефіцієнт тертя ковзання та A' – абразивний фактор. Зазначимо, що енергетична інтенсивність зносу та стираність ідентичні та протилежні коефіцієнту абразивної стійкості. Нова сукупність параметрів зносу може бути отримана заміною шляху ковзання у відповідних виразах на діаметр плями дотику.

1.7 Експериментальні установки для дослідження полімерів на абразивний знос

При дослідженні тертя еластомірів суттєве спрощення будь-якої установки випливає із застосування перетворення Вільямса-Ландела-Феррі, згідно з яким впливи частоти та температури взаємозамінні. Таким чином, для того щоб розрахувати або оцінити повну частотну або температурну залежність сили тертя, достатньо забезпечити зміну частоти чи швидкості ковзання при сталій температурі, або температури при сталій швидкості. Цей висновок випливає з в'язко пружної природи тертя еластомірів та дозволяє знизити вартість та складність експериментальних установок [8].

Зазвичай, в залежності від передбачуваного застосування, простоти виконання експериментальної установки, обґрунтування для проведення

конкретного експерименту або, можливо, ступеня очікуваної складності. До цих груп, наприклад, можна віднести такі:

1. установки з диском, що обертається;
2. установки з зовнішнім або внутрішнім барабаном;
3. прибор з плоским ремнем;
4. машина для випробувань на знос та стирання;
5. прибор для здавлювання плівки;
6. ударні, або динамічні, стенди;
7. інтерферометричний прилад;
8. електронна дифракція та мікроскопія;
9. прилади інших типів.

1.7.1 Установка з диском, що обертається [8]

Найпростіша та найбільш зручна установка показана на рисунку 1.9. Це система з обертаючим сі горизонтальним диском, на який встановлюється круглий плоский зразок з металевого або еластомірного матеріалу. Зв'язуючим тілом слугує конічний, сферичний або циліндричний штифт, виготовлений з твердого матеріалу(зазвичай з металу), який встановлюється на врівноваженому важелі та притискається під дією навантаження до диску, що обертається. При заданій швидкості обертання диску відносну швидкість ковзання між штифтом (або сферою)та диском можна змінювати у широкому інтервалі шляхом регулювання радіальної відстані між центром диску та точкою контакту. Сила тертя зазвичай вимірюється тензодатчиками, встановлених на вертикальних бічних сторонах важеля, шляхом запису викликаних цією силою горизонтальних вигин них напружень. З іншої сторони, тензодатчики, встановлені на валу між диском та двигуном, будуть вимірювати момент сили тертя. Нормальне навантаження забезпечується або грузами, як показано на схемі, або за допомогою гідравлічного пристрою. Температура

контакту у процесі ковзання визначається за допомогою відповідним чином ізольованої термопари, яка розміщена всередині повзуна, або (у випадку еластомірного зразка, що обертається) ряда термопар, розміщених під поверхнею еластоміра на шляху ковзуна.

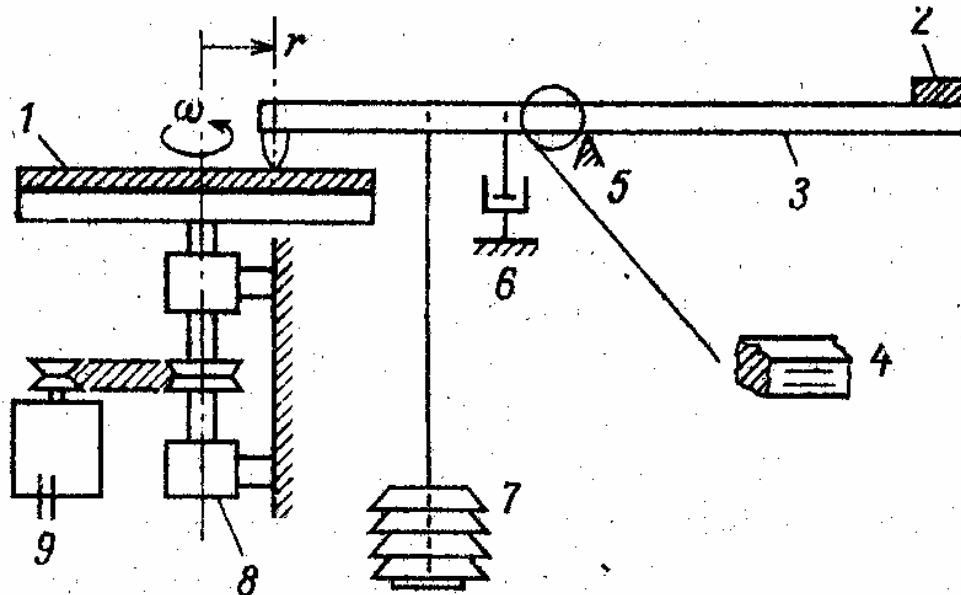


Рисунок 1.9 - Проста установка з диском, що обертається для вимірювання тертя

1 – плоский зразок; 2 – протизвага; 3 – важіль; 4 – розміщення тензодатчиків; 5 – точка опори; 6 – демпфер; 7 – груз; 8 – підшипник; 9 – двигун із сталою швидкістю

Вимірювання, отримані за допомогою описаної установки із диском, що обертається, неможливо розглядати як точні, хоча дані, що реєструються надійні та добре узгоджуються. Найбільш серйозні утруднення пов'язані з вібрацією важеля, що створює нормальне навантаження на зразок після відносно малого числа обертів. Використання механічних демпферів та прикладання нормального навантаження за допомогою гідравлічного циліндра (замість важелів) помітно послаблюють небажані вібрації, а ланцюг електричного фільтра додатково знижує розкид динамічного запису сигналу тензодатчиків. Знос та виникнення канавок можна мінімізувати або

обмеженням числа обертів диска на будь-якому випробуванні, або програмуванням переміщення повзуна, що забезпечує рух повзуна з радіальною відстанню постійно що зменшується від центра диска до плями дотику. Знос повзуна зазвичай малий або нехтуючи малий у порівнянні з пошкодженням, яке створене утворенням канавок, коли поверхня диска є еластомірною.

Одним з недоліків цього методу є криволінійна траєкторія точок поверхні диска при входженні у контакт з повзуном. Щоб уникнути спотворення самої площини контакту, ця площа повинна бути достатньо малою. Другий недолік полягає в практичній неможливості забезпечити стабільну товщину плівки змащення на диску що обертається під впливом відцентрових сил.

При збільшених площах контакту та необхідності змащення замість диска, що обертається, зазвичай використовують зовнішній або внутрішній барабан.

1.7.2. Прилад з пласким ремнем

На рисунку 1.10 зображена загальна схема пристрою, що складається з охоплюючого два великих циліндри гнучкого ремня [8]. Один з цих циліндрів обертається або двигуном із змінною швидкістю, або синхронним двигуном з проміжним редуктором. Прогин ремня усувається звичайним натяжним роликком. Сам ремінь може бути із тканини, резини, сталевий смужки або армованого композиційного матеріалу, а профілювання поверхні ремня можна забезпечити або при його виготовленні, або обробкою однієї його сторони скляною шкуркою або наждачним папером після збирання пристрою. Пласка частина ремня між ведучим та веденим циліндрами спирається на повітряну або водяну плівку, яка протидіє прогину під дією прикладеному навантаженню. На рисунку 1.10 воду для подушки подає сопло із швидкістю на виході з сопла, приблизно рівній швидкості ремня. Клапан А, що живить сопло, регулюється або вручну, або автоматично за швидкістю веденого циліндра. У останньому випадку пропорційність між розкриттям клапана та швидкістю ремня

забезпечує рівномірний підтримуючий шар води, товщина котрого не залежить від швидкості.

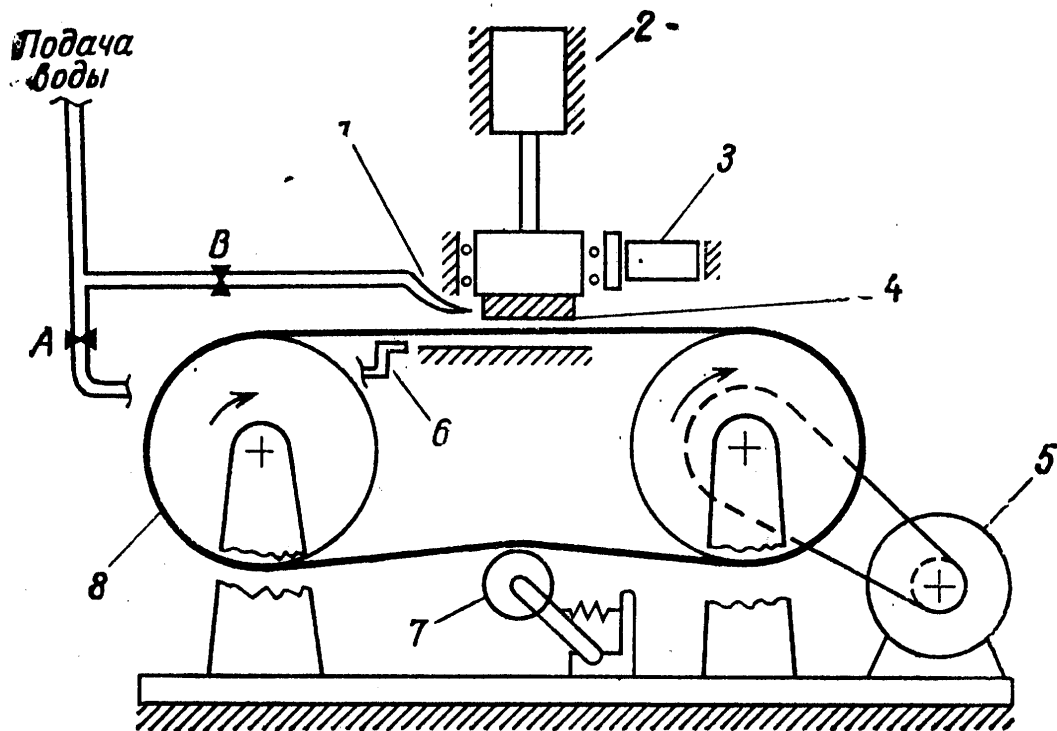


Рисунок 1.10 - Загальна схема пристрою з пласким ременем

1 – сопло для підведення мастила; 2 – гідравлічний навантажувальний циліндр; 3 – вимірювач сили тертя; 4 – випробуваний зразок; 5 – двигун із змінною швидкістю; 6 – сопло; 7 – натяжний ролик; 8 – гнучкий ремінь

Нормальне навантаження, що діє на випробуваний зразок, прикладається за допомогою гідравлічного циліндра, а бокова деформація несучої опори зразка, створювана тертям між зразком та ременем, ефективно обмежується антифрикційними направляючими. Із сторони однієї з них встановлений динамометр, відкалібрований для запису сили тертя. Якщо буде потрібно змінити температуру, то всередині зразка на відповідних глибинах розміщують термопари (на рисунку не вказані). Сопло для подачі мастила за допомогою клапана В забезпечує рівномірний шар води на поверхні ременя перед випробуванням зразком.

Пристрій, що показаний на рисунку 1.10, дозволяє підтримувати вельми великі швидкості відносного ковзання між ремнем та випробуваним зразком. Єдиним обмеженням виявляється міцність на розрив самого ремня, та її можна підвищити, якщо використати надміцну сталеву смужку або збільшуючи радіуси циліндрів у конструкції. Більш практичним обмеженням є швидкий знос зразка, особливо якщо ремінь має грубий профіль або наждачне покриття та якщо між зразком та ремнем не використовується мастило. Великою перевагою системи є відсутність кривизни плями торкання. Однак можливі ускладнення у тих випадках, коли вертикальна відстань між лінією дії вимірюючої сили тертя динамометра та площиною тертя не підтримується мінімальною, так як при наявності будь-якої такої відстані існує пара сил, які суттєво впливають на прикладене навантаження W . У випадку пристрою з плоским ремнем особлива складність пов'язана з тим, що ця пара сил викликає нерівномірний знос зразка, та на етапі проектування слід приділяти особливу увагу деталям систем навантаження та вимірювання тертя.

1.7.3 Машина для випробувань на знос та стирання [8]

Вище було описано обладнання для безперервного запису сили тертя та було показано, що при послідовному виключенні впливу кривизни контакту конструкція системи стає все більш складною. Крім того, кожна з описаних систем легко може бути пристосована для вимірювання зносу, який є неминучим наслідком фрикційної взаємодії

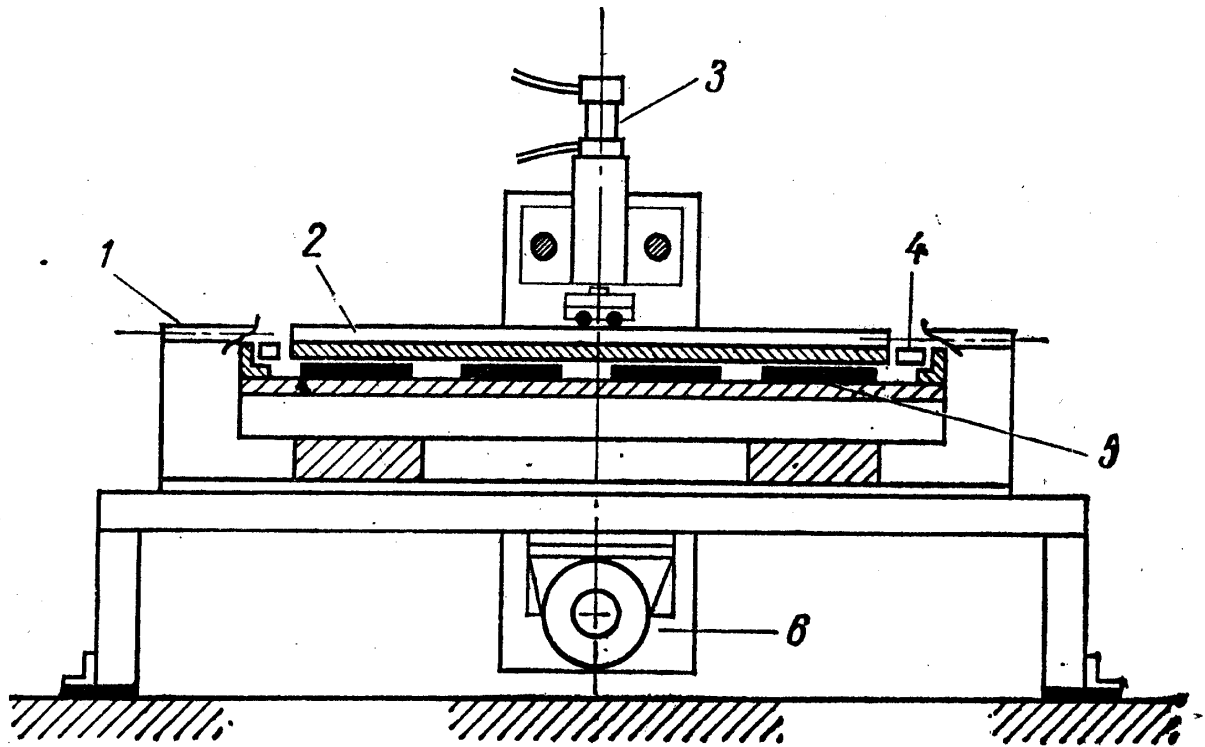


Рисунок 1.11 - Машина для випробувань на знос та стирання

1 – кремальєрний привідний механізм; 2 – еластомірна подушка; 3 – пневматичний навантажуючий циліндр; 4 – вимірювач сили тертя; 5 – роликові підшипники з малим тертям; 6 – привід із змінною швидкістю

Тепер розглянемо метод вимірювання зносу та стирання за допомогою машини зворотно-поступальної дії (рисунок 1.11). Машина складається з платформи що переміщується, та приводиться в рух із сталою швидкістю двигуном через варіатор швидкості, який є частиною самої платформи. Направляюча, по якій ковзає платформа, встановлена на станині та має плоску горизонтальну пластину, що спирається на роликові підшипники з малим тертям. Переміщення пластини обмежені у поздовжньому напрямку. На пластині встановлена жорстка або гнучка направляюча. На платформі встановлено вертикальний пневматичний циліндр, який забезпечує навантаження плунжера нормальним навантаженням в інтервалі значень 0-500Н. На кінці плунжера можуть бути закріплені зразки нерівностей різних форм та розмірів (на півсфери, конуси та т.і.). Якщо необхідно змінити шлях ковзання повзуна по направляючій, пневматичний навантажуючий пристрій

може бути зміщено у поперечному напрямку. На цій машині можна проводити або точні вимірювання адгезії при малій швидкості за один прохід платформи, або випробування на втомленість та знос за час до кількох діб. На кожному кінці направляючої розташовані мікро перемикачі, що змінюють напрямок руху платформи на зворотній, а відстань між ними можна підібрати таким чином, щоб отримати необхідну довжину ходу платформи. Швидкість ходу платформи вимірюється в діапазоні 0-10см/с та вимірюється тахометром. Сила тертя між повзуном та направляючої з резини безпосередньо передається на плоску опорну пластину та реєструється датчиками сили, обмежувачами позовжне переміщення пластини.

Число змінних для такої простої установки доволі велике. Так, у конкретному дослідженні адгезії можна обирати швидкість, шлях, довжину ходу, навантаження, забруднюючі речовини на поверхні розділу та шорсткість поверхонь, а в іспитах на знос та втому задаються частота циклів, хід та число циклів. Найбільш точним та чутливим методом оцінки ступеня зносу є метод мічених атомів. Він полягає у нанесенні радіоактивної речовини на поверхню резиновою направляючої до початку випробувань та реєстрація спадання радіоактивності у процесі експерименту. Точність цього методу визначається долями грама продуктів зносу, завдяки чому суттєво скорочується час випробувань.

Досліджуваними забруднюючими речовинами на поверхні розділу можуть бути вода, вода з миючою присадкою, мінеральні та рослинні масла з різними в'язкостями, силіконові рідини та т.і. При необхідності можна забезпечити відповідну шорсткість поверхонь повзуна та направляючої. Саму направляючу можна замінити смугами з наждачного паперу або скляної шкірки, а на підставі навантажуючого плунжера замість зразків нерівностей закріпити зразок з еластомера або м'якого металу. Це дозволяє легко оцінити вплив випадкового профілю на абразивний знос зразка. Якщо профіль скляної шкірки замінити на округлені гребні, то можна виміряти вплив втомленого зносу. Як і в попередніх

випадках температури можна записати за допомогою термопар, розміщених в одній або обох поверхнях тертя.

Висновки до розділу 1.

1. Аналіз літературних джерел та Інтернет видань показав, що дослідження на абразивний знос полімерних матеріалів наразі має дуже велике значення. У наш час полімери використовують там, де здавалося б, їм не місце. Але завдяки своїм фізичним властивостям полімери іноді замінюють метали. Також дуже часто зустрічаються пари тертя композит-метал.

2. З аналізу різновидів установок для дослідження тертя за умов абразивного зношування полімерних матеріалів видно, що відсутнє жодне згадування про дослідження зношування цих матеріалів з урахуванням динаміки навантажування.

3. Очікується, що дослідження такого зношування надасть можливість розширити знання властивостей матеріалів, а завдяки цьому отримати можливість не тільки впливати на споживчі характеристики інструментальних композиційних матеріалів, а й на експлуатаційну поведінку оброблених виробів.

2. РОЗРОБКА УСТАНОВКИ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗНОШУВАННЯ ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ

Розглянемо установку для дослідів полімерних матеріалів на знос Вітебського державного технологічного університету [24]. Ця установка для випробування полімерних матеріалів на абразивний знос, що складається з корпусу, циліндра, призначеного для кріплення на ньому шліфувальної шкірки, приводу обертання циліндру, призначеного для кріплення на ньому шліфувальної шкірки, приводу обертання циліндру, патрона для з'ємного тримача зразка, навантажувального та підйомного пристроїв, відрізняється тим, що механізм, який забезпечує рівномірне переміщення патрона уздовж утворюючої циліндра, складається з ходового гвинта, який з'єднаний з встановленою відомою зірочкою, закріпленою на циліндрі, при цьому швидкість обертання циліндра змінюється блоком керування електродвигуна постійного струму, кінематично пов'язаного з циліндром через черв'ячний редуктор.

Конструкція заданої моделі пояснюється рисунком 2.1. На ньому надано загальний вигляд установки для випробування полімерних матеріалів на абразивний знос.

Запропонована корисна модель належить до області випробувальної техніки, а саме установкам та приборам, що використовуються випробувань полімерних матеріалів на стирання (знос) та визначення показника стирання. Сутність визначення показника стирання полягає в оцінюванні зменшення об'єму зразка внаслідок його стирання.

Одним з найбільш ефективних типів обладнання для випробувань пластмас на стирання (знос) є машини, які забезпечують абразивний знос пластмасового зразка за свіжим слідом шліфувальної шкірки. Найбільш близьким за технічною сутністю, сукупністю ознак та досягнутого результату є дослідна машина для випробування пластмас на абразивний знос [9], що складається з

корпуса, циліндра який обертається, призначеного для кріплення на ньому шліфувальної шкурки, приводу обертання циліндру, патрона для з'ємного тримача із закріпленим у ньому зразком, навантажуючого пристрою, яке забезпечує прикладання регульованого навантаження на зразок, під'ємного пристрою та механізму, який забезпечує рівномірне переміщення патрону уздовж утворюючої циліндра.

Обертаний рух циліндру, а також ходовому гвинту передається за допомогою черв'ячної передачі. У конструкції машини передбачено дві швидкості обертання циліндру, які передбачені скринькою швидкостей.

Випробувальна машина призначена для проведення випробувань пластмас на стирання. Але вона має деякі конструктивні недоліки, які зменшують галузь застосування установки. До них, наприклад, відноситься жорсткий кінематичний зв'язок між частотою обертання циліндру та переміщення зразка уздовж поверхні, що його утворює.

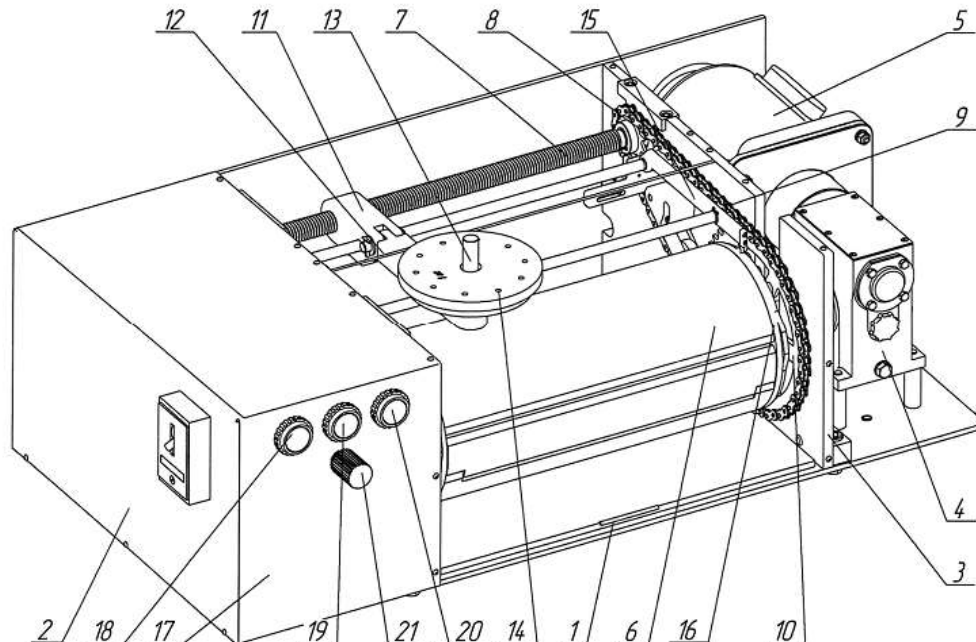


Рисунок 2.1 - Установка для дослідження полімерних матеріалів на абразивний знос

Установка для випробувань полімерів на абразивний знос складається із станини 1, на якій закріплений кожух шафи електроустаткування 2, вертикальна стійка 3, черв'ячний редуктор 4, вхідний вал якого з'єднаний з електродвигуном 5, а вихідний вал – з циліндром 6. Паралельно до циліндра змонтовано ходовий гвинт 7, на якому закріплена зубчаста зірочка 8 ланцюгової передачі 9. Ведуча зірочка 10 встановлена на циліндрі. У зчепленні з гвинтом знаходиться гайка 11, яка з'єднана з навантажуючим пристроєм, який складається з патрона 12 для тримача, що знімається 13, який призначений для закріплення зразка. Навантаження на зразок забезпечується змінними важелями. Під'ємний пристрій, що складається з рами 15 та кулачка 16, забезпечує підняття патрона при проходженні зразком шва шліфувальної шкурки. Кожух приводу та кришка, що закриває циліндр, на рисунку не вказані. На лицьовій панелі шафи електроустаткування закріплений пульт управління 17, який складається з кнопок «Пуск» 18, «Стоп» 19, «Реверс» 20 та регулятора напруги 21.

Шафа електроустаткування має блок управління електродвигуном та комутаційну апаратуру.

Тепер розглянемо інший вид стенду.

На рисунку 2.2 схематично показаний ударний, або динамічний, стенд розроблений для вивчення характеристик плівок що здавлюються в умовах швидкого навантаження [8]. Вертикальний шток утримується соленоїдом у крайньому верхньому положенні. Нижній кінець штока має вид квадратної горизонтальної плоскої пластини, до нижньої якої приклеєна еластомірна подушка. Пластина, подушка та нижня поверхня яка досліджується, занурені у прозору ванну, яка може бути заповнена мастилом [3]. На шток надіваються важелі при включеному утримуючому соленоїді, а регулюючий гвинт над важелями дозволяє відрегулювати початкову висоту нижньої сторони подушки над середньою площиною основи. Після розмикання ланцюжка соленоїда навантажений шток рухається униз у направляючій втулці, яка закріплена на стійці стенду, та вдаряється об поверхню основи. Встановлений на падаючій

пластині акселерометр реєструє через відповідну апаратуру (підсилювача та самописця або осцилоскопу) процес зближення.

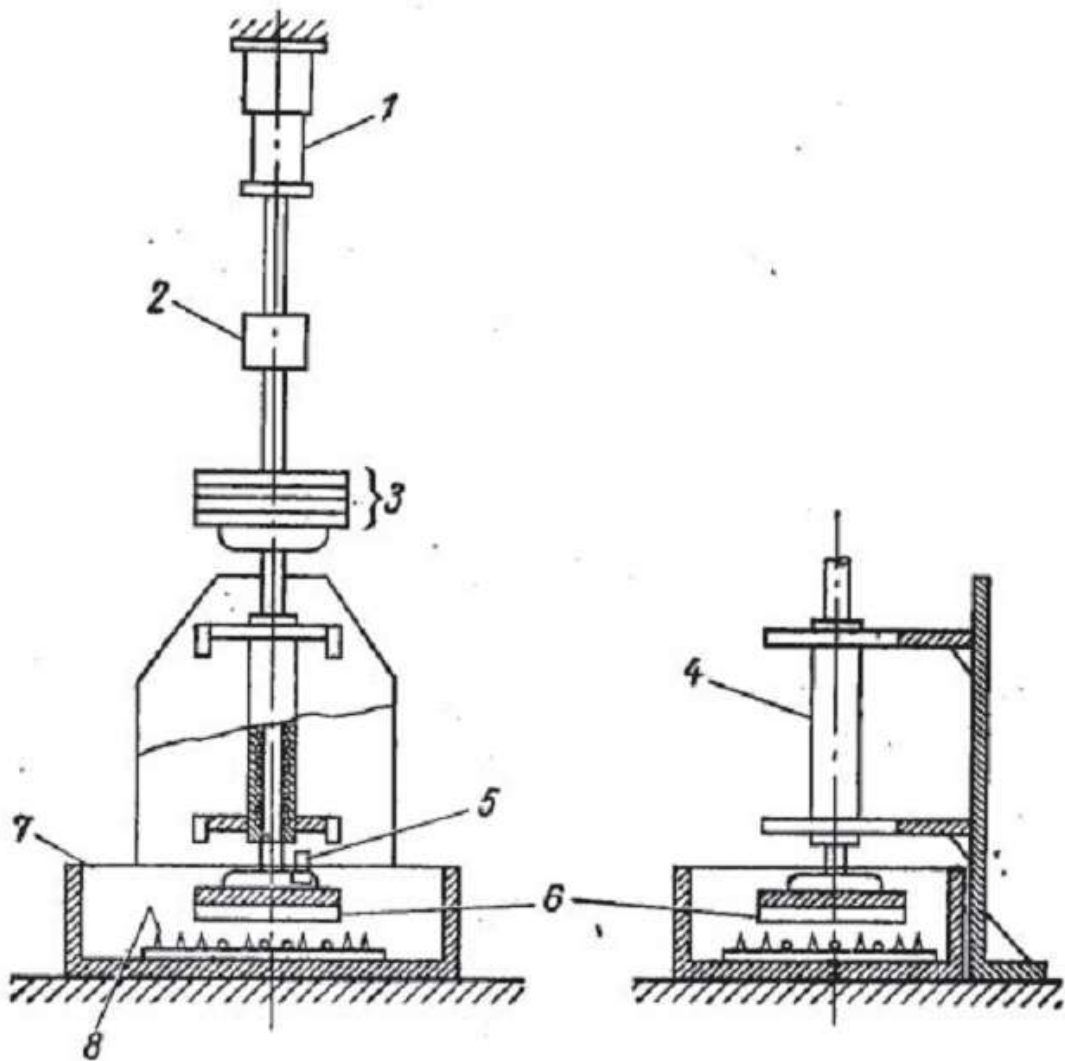


Рисунок 2.2 - Ударний, або динамічний стенд

1 – утримуючий соленоїд; 2 – регулюючий гвинт; 3 – важелі; 4 – направляюча тертя; 5 – акселерометр; 6 – еластомірна подушка; 7 – ванна для мастила; 8 – досліджувана поверхня.

Ударний, або динамічний стенд, схематично зображений на рисунку 2.2, дуже простий, однак на ньому можна проводити три типи експериментів, які дозволяють оцінити вплив декількох визначних параметрів:

- а. - Для заданого еластомірного матеріалу подушки та вибраного мастила можна визначити вплив профіля поверхні (регулярних або випадкових нерівностей) на характеристики стискання.
- б. – Для заданих матеріалів подушки та профілі поверхні можна виділити та виміряти демпфуючий вплив змащення.
- в. – Для заданих мастила та профілю основи можна кількісно оцінити вплив в'язко пружних властивостей різних матеріалів подушки на процес здавлювання.

Тепер спробуємо поєднати обидва стенди. Основою буде саме вітебська установка, а ударний стенд ми встановимо на нього (рисунок 2.3).

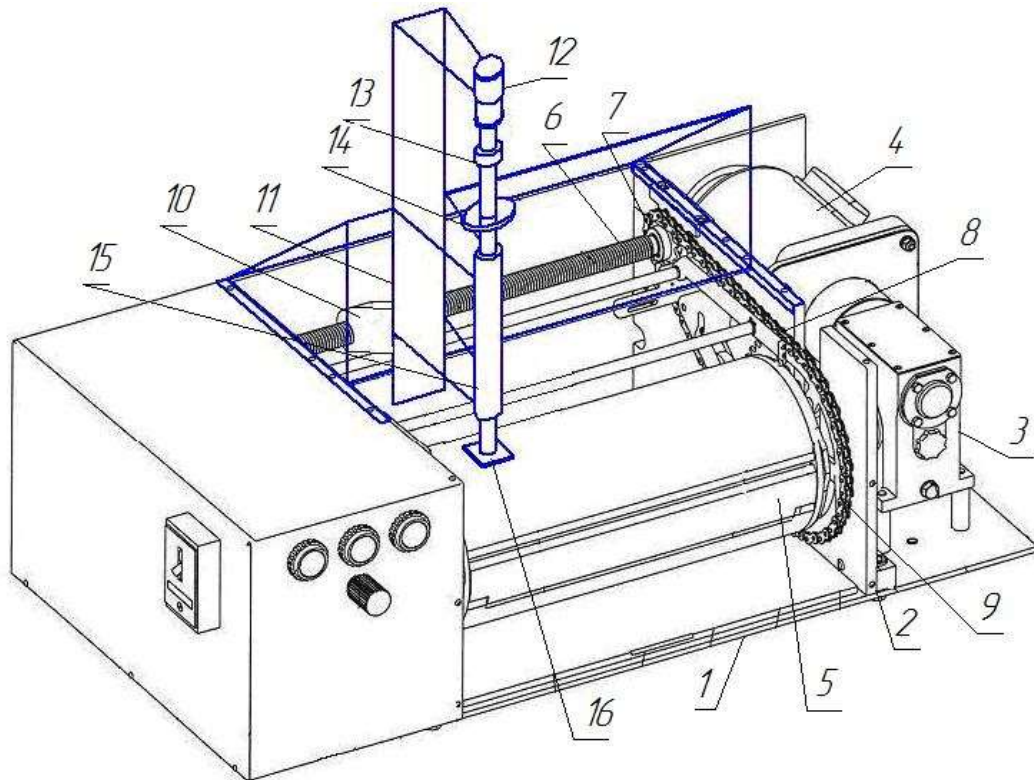


Рисунок 2.3 - Установка для випробувань еластомірних матеріалів при динамічному контактному навантаженні

Означимо основні вузли нашої установки.

Вона складається із станини – 1, вертикальної стійки – 2, черв'ячного редуктора – 3 з'єднаного з електродвигуном – 4 вхідним валом, а вихідним валом із циліндром – 5. Паралельно до циліндра змонтовано ходовий гвинт 6, на якому, як і на вітебській установці, закріплена зубчаста зірочка 7 ланцюгової передачі 8. Ведуча зірочка 9 встановлена на циліндрі. У зчепленні з гвинтом знаходиться гайка 10, яка з'єднана з навантажувачим пристроєм 11. До складу пристрою належать: соленоїд – 12; регулюючий гвинт – 13; важелі – 14; направляюча тертя – 15 та еластомірна подушка 16.

На рисунку 2.4 зображено кінематичну схему розробленої установки.

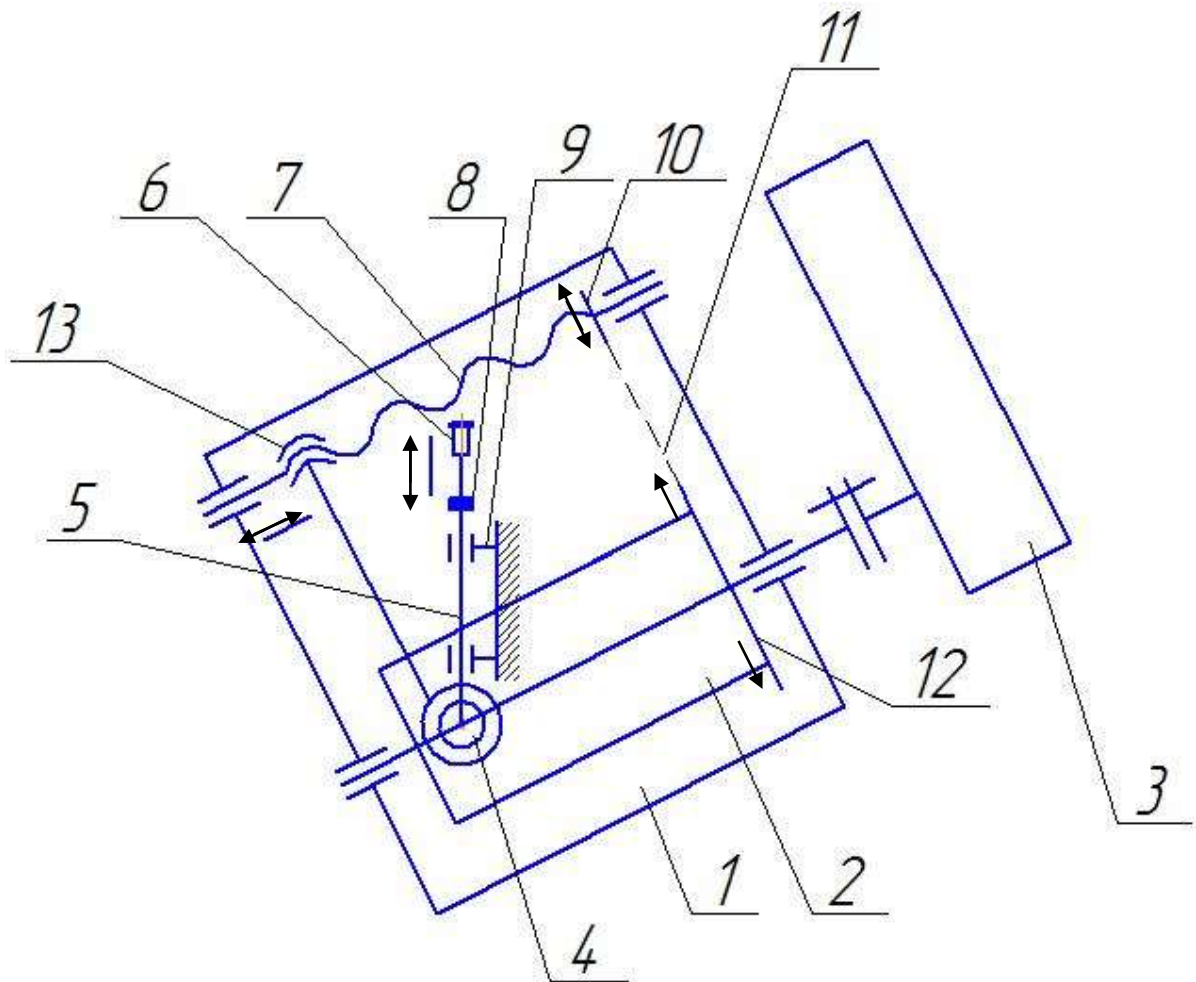


Рисунок 2.4 - Кінематична схема установки

1 – корпус; 2 – циліндр; 3 – привід; 4 – патрон для тримання зразка; 5 – шток навантажувального пристрою; 6 – електромагнітний соленоїд; 7 – ходовий

гвинт; 8 – змінний вантаж; 9 – напрямна; 10 – ведена зірочка; 11 – ланцюгова передача; 12 – тягова зірочка; 13 – гайка з тримачем

На засіданні науково-технічної ради УГТ ПАТ «Мотор-Січ» (див. ДОДАТОК А) було заслухано доповідь про вищезазначену установку та розглянуто доцільність патентування корисної моделі «Установка для випробувань на зношування полімерних матеріалів». Науково-технічною радою було рекомендовано направити до патентного відомства України (Укрпатент) заявку на винахід (корисну модель) та, як слідство, отримано реєстраційний номер цієї заявки (див. ДОДАТОК Б).

Установка доволі проста. Розглянемо основні її складові:

- черв'ячну передачу;
- двигун;
- соленоїд;
- ходовий гвинт.

2.1 Вибір мотор-редуктора

Черв'ячною передачею називають механізм, який слугує для перетворення обертового руху між валами з вісями, що схрещуються. Зазвичай черв'ячна передача складається з черв'яка 1 та сполученого з ним черв'ячного колеса 2 (рисунок 2.5). Кут схрещування вісі черв'яка з віссю колеса дорівнює 90° ; не ортогональні передачі зустрічаються доволі рідко. Черв'ячні передачі відносяться до передач з зачепленням, у яких рух здійснюється за принципом гвинтової пари. Тому черв'ячні передачі відносяться до зубчасто-гвинтових.

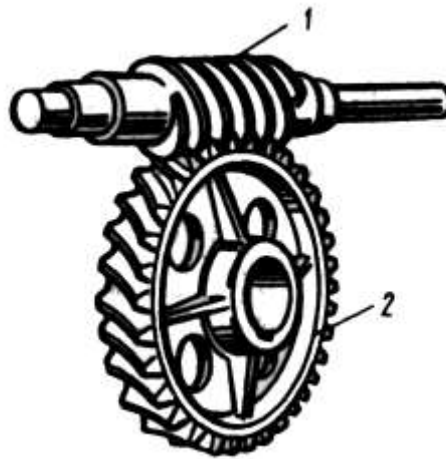


Рисунок 2.5 - Черв'ячна передача

Зазвичай провідним ланцюгом черв'ячної передачі є черв'як, але існують механізми, у яких провідним ланцюгом є черв'ячне колесо.

Переваги черв'ячних передач: компактність конструкції та можливість отримання великих передаточних чисел в одноступінчастій передачі (до $U=300$ та більше); висока кінематична точність та підвищена плавність роботи; мала інтенсивність шуму та віброактивності; можливість забезпечення самогальмування.

До недоліків відносять: значне геометричне ковзання в зачепленні та пов'язане з цим тертя, підвищений знос, схильність до заїдання, нагрів передачі та відносно низький ККД (від $\eta=0,5 \dots 0,95$); необхідність застосування для відповідальних деталей дорогих та дефіцитних антифрикційних кольорових металів. Вказані недоліки обмежують потужність черв'ячних передач (зазвичай до 60 кВт) [10].

Черв'ячна передача у реальній практиці інженера, як це не дивно, є найбільш затребуваною, переміщуючи на другий план й зубчасту, й ланцюгову, й ремінну. Причиною такого положення справ є простота та загальна кінцева дешевизна виготовлення.

Потужність – самий важливий параметр для вибору електродвигуна. Традиційно вона вказується у кіловатах (кВт), у закордонних моделей – у

кіловатах та кінських силах (к.с., HP, Horse Power). Для довідки: 1 к.с. приблизно дорівнює 0,75 кВт.

На двигуні вказана номінальна корисна (механічна, що віддається) потужність. Це та потужність, яку двигун може віддавати механічному навантаженню з заявленими параметрами без перегріву. У формулах номінальна механічна потужність визначається через P_2 .

Електрична (споживча) потужність двигуна P_1 завжди більше тієї, що віддається, оскільки у будь-якому пристрої перетворення енергії є втрати. Основні втрати в електродвигуні – механічні, виникають внаслідок тертя. З курсу фізики відомо, що втрати у будь-якому пристрої визначаються через ККД, який завжди менше 100%. У даному випадку сенс має формула:

$$P_2 = P_1 \cdot \eta \quad (2.1)$$

ККД у двигунах залежить від номінальної потужності – малопотужних моделей він може бути менш ніж 0,75, у потужних перевищує 0,95. Наведена формула має сенс для активної потужності, що споживається. Але, оскільки електродвигун є активно-реактивним навантаженням, для розрахунку повної спожитої потужності S (з врахуванням реактивної складової), необхідно також враховувати реактивні втрати. Реактивна складова виражається через коефіцієнт потужності ($\cos \phi$). З її врахуванням формула номінальної потужності двигуна має наступний вигляд:

$$P_2 = P_1 \cdot \eta = S \cdot \eta \cdot \cos \phi \quad (2.2)$$

Зазвичай номінальна потужність вказує для температури навколишнього середовища 40°C та обмежена граничною температурою нагрівання. Оскільки самим слабким місцем у двигуні з точки зору перегріву є ізоляція, потужність обмежується класом ізоляції обмотки статора.

В документації на електродвигуни наводяться дані, з яких видно, що номінальна потужність двигуна падає при підвищенні температури навколишнього середовища. З іншої сторони, при потрібному охолодженні двигуни можуть працювати достатньо довгий час на потужності вище номіналу.

Але все ж таки необхідно вказати, що реальна робоча спожита потужність P (потужність на валу двигуна в даний момент) завжди повинна бути менше номінальної:

$$P < P_2 < P_1 < S \quad (2.3)$$

Це необхідно для попередження перегріву двигуна та наявності запасу на перевантаження. Короткочасні навантаження допустимі, але вони обмежені перш за все нагрівом двигуна. Захист двигуна по перевантаженню також потрібно встановлювати не за номінальним струмом (котрий прямо пропорційний потужності), а виходячи з реального робочого струму [11].

Сучасні виробники у загальній своїй масі випускають двигуни з наступного ряду номіналів: 1,5, 2,2, 5,5, 7,5, 11, 15, 18,5, 22 кВт та т.і.

Аналіз існуючої літератури, а також пошуки інформації на WEB-сторінках наштовхнули мене на ось яку думку. В сучасній техніці існують безліч пристроїв. Для нашої установки з випробувань на зношування полімерних матеріалів необхідно вибрати двигун, який буде з безлічі таких самих двигунів відповідати нашим вимогам (низька швидкість обертів) та розрахувати черв'ячну передачу, яка в свою чергу буде відповідати іншим вимогам (частота обертання барабана 5-7 об/хв.).

У техніці й справді існують такі пристрої. Називаються вони черв'ячний мотор-редуктор. Це одношвидкісний передаточний механізм, сконструйований на базі редуктора з простішим черв'ячно-гвинтовим зачепленням та електрорушійною частиною (силова установка змінного та постійного струму) [12].

Складові черв'ячного редуктора: швидкохідна частина - черв'як, що приводиться до руху відповідним двигуном; та тихохідна частина – черв'ячне шестерне зубчасте колесо з призначенням для користувача порожнистим валом всередині цього колеса. Одно-, двох-, та в деяких випадках чотирьох західний черв'як взаємодії з нарізаною по колу зубчастого колеса шестернею. Черв'як має адаптер для підключення промислового електродвигуна; призначений для користувача порожнистий вал черв'ячного колеса – є найбільш зручною формою для зняття отриманого обертового моменту.

У процесі редукції, вузол перетворює енергію, закладену у високій кутовій швидкості та помірному моменті на виході, у максимально можливий обертовий момент на вихідному валу.

Переваги черв'ячних редукторів:

1. Компактність, наявність самогальмування на високих передаточних відношеннях;
2. Великий діапазон передаточних чисел при одній ступені редукції;
3. Плавний, м'який хід, безшумна робота;
4. Дешевизна та простота виробництва.

До недоліків відносять:

2. Низький ККД редуктора, при $i > 50$ починається підвищене зниження ККД; та як наслідок, збільшується знос, виникає перегрів редуктора, збільшується енергоспоживання;
3. Невисокий обертовий момент, що передається;
4. Знижений ресурс експлуатації у порівнянні з циліндричними передачами;
5. Слід уникати переривчастих та короткочасних режимів роботи.

Такі механічні пристрої [12], будучи незамінним атрибутом будь-якого устаткування верстатного парку, безперечно взаємодіють з різними типами верстатів та установок. Більш того підкупає той факт, що електричні двигуни, що входять до комплектації, працюють від змінного струму, який має частоту 50Гц, та напругою у 380 В або ж 220 В, що відповідає найбільш оптимальним

вимогам для використання на промислових та побутових майданчиках різних масштабів.

Ми розглянули, що собою представляє мотор-редуктор взагалі. Тепер спробуємо знайти необхідний для нашої установки.

Так компанія «Приводные технологии» надає у продаж цілий ряд мотор-редукторів різних серій. Серед них є один, який відповідає нашим умовам (рисунки 2.6, 2.7). Розглянемо його більш досконально.

Черв'ячна трансмісія призначена для виконання різних робіт у промисловій сфері, додаткова комплектація циліндричною перед ступінню дозволяє використовувати привід EV075-NR11-71/4b на низьких значеннях швидкості обертання вала: 7,5~13 об/хв.; еквівалентна потужність – 0,37кВт; отримані моменти 200~300 Н/м.

Найбільш важливі вихідні дані наведені у таблиці 2.1.



Рисунок 2.6 - Мотор-редуктор EV075-NR11-71/4B

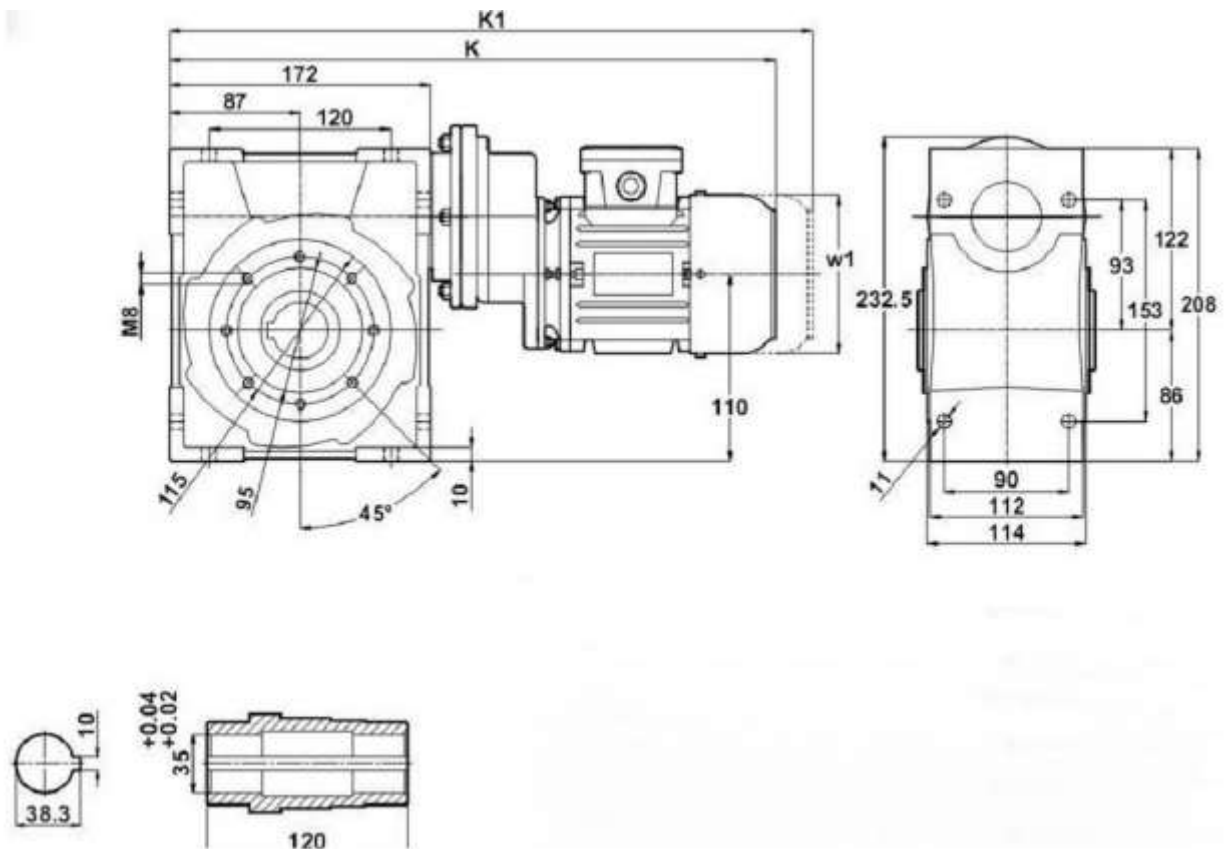


Рисунок 2.7 - Основні розміри мотор-редуктора EV075-NR11-71/4b

Табл. 2.1 - Основні вихідні дані мотор-редуктора EV075-NR11-71/4b

Оберти на вихідному валу	Обертовий момент на вих. валу	Передатне число	Радіальні навантаж. на вих. вал	Сервіс фактор	Тип редуктора	Маса
$n_2(\text{об/хв.}^{-1})$	$M_2(\text{Нм})$	i	$Fr \text{ (H)}$	sf		$m \text{ (кг)}$
7,5	304	186	7400	0.89	EV075-NR11-71/4b	19
9,4	258	149	7400	1.0		
13	205	112	740	1.3		

2.2 Соленоїд

Іншим пристроєм, необхідним нам у роботі над Установкою для випробувань на зношування полімерних матеріалів, є соленоїд.

Циліндрична обмотка, яка має довжину значно більшу за діаметр називається соленоїдом. У перекладі з англійського, це слово означає – подібний трубі, тобто, це котушка, схожа на трубу [13].

За призначенням соленоїди поділяють на 2 класи:

1. Стаціонарні. Тобто, для магнітних полів стаціонарного виду, котрі довго тримаються при деяких значеннях.
2. Імпульсні. Для отримання імпульсних магнітних полів. Вони можуть існувати тільки у коротким проміжок часу, не більше 1с.

Соленоїдом також можна назвати котушку індуктивності, яка намотана проводом на каркас у вигляді циліндру (рисунок 2.8). Такі котушки можуть бути намотані одним, або декількома шарами. Так як довжина обмотки набагато більша діаметра, то при підключенні постійної напруги на цю обмотку, всередині котушки виникає магнітне поле.

Часто соленоїдами також називають електромеханічні пристрої, які мають котушку, всередині якої є феромагнітний сердечник.

При підключенні до провідників соленоїда змінної напруги, магнітне поле буде створюватися також змінним. Соленоїд має опір змінному струму у вигляді двох складових: активної та реактивної. Вони залежать від індуктивності та електричного опору провідника котушки.

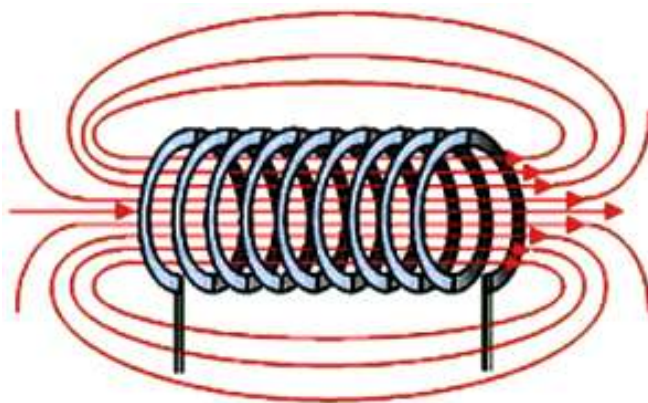


Рисунок 2.8 - Котушка індуктивності

У нашому випадку, як і з мотор-редуктором, існують промислово виготовлені соленоїди (рисунок 2.9). Розглянемо один з них.

Соленоїд 12В 0.8А JF-0530В - це якісно виготовлений соленоїд для різноманітних пристроїв [18]. При подачі напруги якір з однієї сторони втягується, а з іншої штовхає. Тому даний соленоїд може використовуватися як на відтяжку, так і на штовхання.

Характеристики соленоїда 12В 0.8А JF-0530В:

- Напруга живлення: DC 12V;
- Номінальний струм: 800 мА;
- Сила утримання: 5Н;
- Хід руху штока: 10 мм;
- Довжина кабеля: 200 мм;
- Розмір котушки: 30x15x15 мм;
- Довжина штока (робоча/загальна): 25/60 мм;
- Діаметр штока: 5,8 мм;
- Матеріал: метал;
- Маса: 30 г.



Рисунок 2.9 - Промислово виготовлений соленоїд

2.3 Розрахунок ходового гвинта

Так само, як з мотор-редуктором та соленоїдом, нам для установки для випробувань на зношування полімерних матеріалів необхідно розрахувати ходовий гвинт.

Передача гвинт-гайка призначена для перетворення обертового руху у поступальний [19]. Для перетворення поступального руху в обертовий, силові передачі майже не використовуються через низький ККД. В передачі використовують пару гвинт - гайка ковзання (рисунок 2.10 а) або кочення (рисунок 2.10 б).

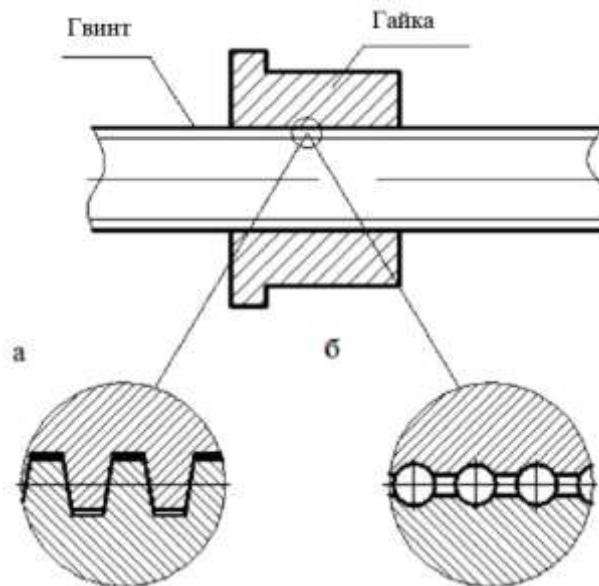


Рисунок 2.10 - Передачі гвинт-гайка: а – ковзання; б – кочення

Гвинтові передачі можна поділити на наступні основні групи: ходові гвинти для перетворення обертового руху у поступальний; вантажні гвинти для переміщення вантажів та передачі зусиль; регулювальні гвинти, що використовуються для фіксації деталей у машинах та механізмах.

Область застосування передач гвинт-гайка достатньо велика – від точних вимірювальних приладів (механізми ділильних приладів) до важко навантажених нажимних пристроїв прокатних станів.

Перевагами передач гвинт-гайка є можливість отримання повільного поступального руху при відносно великих частотах обертання; значний вииграш у силі; висока точність переміщення; простота конструкції; малі габарити; можливість забезпечення самогальмування. До недоліків цієї системи відносять великі втрати на тертя та, відповідно, доволі низький ККД. Передачі кочення позбавлені цього недоліку, але їхня конструкція складніша, а вартість вища.

Профіль різьблення у передачах ковзання вибирають в залежності від вимог до точності переміщень, ККД та технологічності. З метою підвищення ККД у передачах гвинт-гайка ковзання використовують різьблення, із зниженим наведеним коефіцієнтом тертя.

У силових передачах ковзання при двосторонньому напрямку навантаження найчастіше використовується стандартне трапецеїдальне різьблення. Вимоги до нього встановлені ГОСТ 9484 – 81 (профіль), ГОСТ 24738 – 81 (діаметри та кроки однозахідного різьблення), ГОСТ 24739 – 81 (діаметри, кроки та заходи багатозахідного різьблення), ГОСТ 24737 – 81 (основні розміри однозахідного різьблення).

Трапецеїдальне різьблення у загальному діапазоні діаметрів виконують із малим, середнім та великим кроками. У силових передачах використовують переважно різьблення із середнім кроком. Мілке різьблення використовують там, де необхідно мати підвищену точність переміщень, наприклад у мікрометрах. Різьблення із великим кроком використовують там, де передача погано захищена від бруду та схильна до сильного зносу.

Метричне (трикутне) різьблення використовують у передачах приладів та вимірювальних машин, де необхідні малі переміщення з достатньо високою точністю, а ККД не має суттєвого значення. Вимоги до такого різьблення встановлені ГОСТ 9150 – 2003 (профіль), ГОСТ 8724 – 2002 (діаметри та кроки), ГОСТ 16093 – 2004 (точність), ГОСТ 24705 – 2004 (основні розміри)

У передачах гвинт-гайка ковзання для підвищення зносостійкості та зниження схильності до заїдання гайки виготовляють з матеріалів, які мають антифрикційні властивості. Матеріал же гвинта повинен мати високу твердість. Тому для виготовлення гвинтів використовують низьколеговані сталі 65Г, 40Х, 40ХГ із загартуванням до твердості не менше 45 HRC та наступним шліфуванням сталі 40ХФА, 18ХГТ з азотуванням для зменшення спотворення форми та розміру гвинтів внаслідок загартування. Для тихохідних слабо навантажених гвинтів використовують сталі 30, 40, 45 та 50 ГОСТ 1050 – 88 без термічної обробки.

При малих швидкостях обертання гайки виготовляють з малоолов'яної бронзи Бр.О6Ц6С3, безолов'яної бронзи Бр.А9Ж3Л, а також з антифрикційних чавунів АЧВ – 1, АЧК – 1, або сірих чавунів СЧ15 та СЧ20 ГОСТ 1412 – 85.

При високих швидкостях обертання використовують високоолов'яну бронзу Бр.О10Ф1.

При пошуку необхідної інформації з розрахунку ходових гвинтів я натрапив на сайт заводу-виробника цих самих гвинтів з Німеччини [20]. На цьому ж сайті є online-калькулятор для розрахунку, куди завівши необхідні нам параметри отримав повну розкладку з технічними характеристиками необхідної нам пари гвинт-гайка кочення (див. ДОДАТОК В).

Висновки до Розділу 2.

1. На базі відомої конструкції установки (патент № ВУ6234 Республіка Беларусь) розроблено конструкцію установки для дослідження полімерних матеріалів з урахуванням динаміки навантаження.

2. Проведено обґрунтування конструкції розрахунками та вибором параметрів різі ходового гвинта, вибором стандартної конструкції черв'ячного редуктора, вибором соленоїду.

3. Підготовано та подано в Укрпатент матеріали заявки на винахід (корисну модель).

3 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Математичне планування експерименту

Задача планування експерименту полягає в розробці оптимальної схеми дослідження – виборі значень факторів, що вивчаються та кількості дослідів [21]. Планування експерименту сприяє отриманню необхідної інформації при мінімальних матеріальних та часових затратах. Розрізняють планування експерименту для отримання математичної моделі процесу та її екстремумів. Зазвичай ці задачі вирішують спільно.

Об'єктом дослідження називають процес, агрегат та фізичне явище, які вивчаються. Факторами називають незалежні величини, за допомогою яких можна впливати на об'єкт дослідження. Фактори можуть приймати певні значення, які називаються рівнями. Кількісно знайдена характеристика процесу, зазвичай найповніше відображаючий його сутність або ефективність, називається параметром оптимізації, або функцією відгуку.

Методи планування експерименту дозволяють встановити залежність між рядом факторів та одним параметром оптимізації, наприклад між інтенсивністю зношування та факторами x_1 , x_2 , x_3 . Об'єкт, що вивчається описується моделлю у вигляді полінома третього порядку. Коефіцієнти моделі визначають методом найменших квадратів, за допомогою котрих отримують найбільш достовірні оцінки.

Параметр оптимізації повинен бути єдиним та однозначно характеризувати суттєву властивість об'єкту. З декількох величин, що відповідають цим вимогам, обирають ту, яка піддається найбільш точному вимірюванню. Фактори повинні допускати проведення дослідів за будь якої комбінації їх рівнів, бути сумісні у сукупності, незалежними та мати кількісну характеристику, яку можливо точно виміряти та підтримувати на заданому рівні.

При плануванні експерименту встановлюють два або три рівня значень факторів. У останньому випадку задають мінімальне, середнє та максимальне значення. Після масштабного переходу отримують числа -1; 0; +1, котрі називають нормованими рівнями. Дворівневі фактори задають граничними значеннями. Останнє за допомогою масштабування приводять до чисел -1; +1.

Для об'єктів, які характеризуються k факторами, та мають по два рівня, загальна кількість можливих дослідів дорівнює 2^k , а при трьох рівнях 3^k . Експеримент, у якому реалізуються усі можливі поєднання рівнів факторів, називають повним факторним експериментом. Він дозволяє визначити усі коефіцієнти математичної моделі досліджуваного об'єкту та позначається, як ступінь, основа якої дорівнює числу рівнів факторів, а показник – кількості факторів.

Повний три факторний експеримент 2^3 описується моделлю

$$Y = b_0 x_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_{1,2} x_1 x_2 + b_{1,3} x_1 x_3 + b_{2,3} x_2 x_3 + b_{1,2,3} x_1 x_2 x_3 \quad (3.1)$$

де b_1 – головні (основні) ефекти факторів; $b_{i,j}$ – допоміжні ефекти, які відображують взаємодію декількох факторів. План повного три факторного експерименту наданий у вигляді матриці 2^3 у таблиці 3.1.

Після розробки плану експерименту виконують дослід у випадковій послідовності, щоб виключити вплив неврахованих чинників. Для розрахунку коефіцієнтів регресії (ефектів чинників) за даними дослідів використовують рівняння

$$b_0 = \frac{1}{N} \sum^N Y_n ; b_i = \frac{1}{N} \sum_{i,n}^N Y_n ; b_{i,j} = \frac{1}{N} \sum_{i,j,n}^N x_{i,n} x_{j,n} Y_n , \quad (3.2)$$

де N – кількість дослідів у плані експерименту. Так як значення факторів дорівнюють 1 або ж -1, то визначення коефіцієнтів моделі зводиться до

алгебраїчної суми результатів кожного дослідів із знаком , відповідним до значення чинника.

Таблиця 3.1 - План повного факторного експерименту

Дослід	x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$	Y
1	1	1	1	1	1	1	1	1	Y_1
2	1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	Y_2
3	1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	Y_3
4	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	Y_4
5	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	Y_5
6	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	Y_6
7	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	Y_7
8	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	Y_8
Примітка. Значення 1 та -1 – нормовані рівні факторів x_i ; Y_n – величини параметра оптимізації, отримані у кожному з проведених дослідів; x_0 – вільний член шуканої залежності (всього необхідно провести вісім дослідів).									

Для розрахунку дисперсії експерименту проводять ряд дослідів при постійних (краще за все середніх) значеннях чинників. Помилку експерименту можна розрахувати й за результатами раніше проведених дослідів. Адекватність отриманої моделі, як і в регресивному аналізі, визначають за критерієм Фішера. Значимість коефіцієнтів регресії встановлюють за допомогою критерію Стюдента.

Екстремальні значення залежності яка шукається, виявляють методом крутого сходження. При цьому вибирають такі нові значення чинників, які забезпечують максимальний приріст параметра оптимізації.

На рисунку 3.1 показана схема, яка ілюструє суть методу крутого сходження. Криві Y_i – лінії однакових рівнів параметра оптимізації. Точки $Y_1, \dots, 7$ – різні умови проведення досліджень. Послідовно виконані дослідів

плануються таким чином, щоб перехід від одного рівня параметру оптимізації до іншого проходив найкоротшим шляхом, тобто за напрямком градієнту Y .

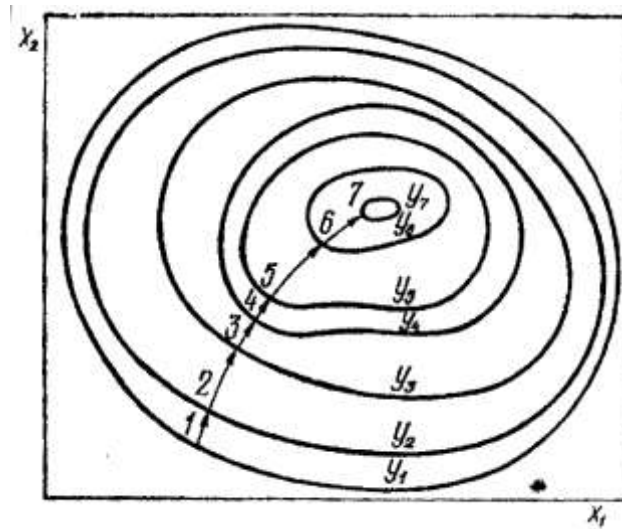


Рисунок 3.1 - Схема методу крутого сходження

План експерименту реалізують до тих пір, поки параметр оптимізації не перейде через екстремум. Щоб побудувати модель процесу та вивчити її достовірність, наступні дослідження проводять в області значень чинників, які відповідають екстремальним значенням функції відгуку (поверхня регресії). План експерименту в області екстремуму повинен передбачати велике число рівнів факторів, тому, що поверхня відгуку поблизу екстремальних точок може мати значну кривизну.

Планування багатфакторного експерименту передбачає перш за все вибір критеріїв варіювання змінних. Межі варіювання називають верхнім та нижнім рівнями та позначають $+1$ та -1 (або $+$ та $-$). Зазвичай кількість рівнів для однієї серії дослідів обмежується двома. План експерименту при цьому називається планом типу 2^k , де k – кількість факторів, які враховуються в експерименті. Для переходу від натуральних значень факторів до значень ± 1 проводиться так зване кодування факторів, визначається співвідношенням

$$x_i = \frac{x_j - x_{j0}}{I_j}, \quad (3.3)$$

де x_i - кодоване поточне значення фактору (± 1); x_j - натуральне поточне значення фактору; x_{j0} - натуральне значення нульового рівня ($x_{j0} = \frac{x_H + x_B}{2}$, x_H та x_B - натуральні значення нижнього та верхнього рівнів фактора); I_j - натуральне значення інтервалу варіювання ($I_j = x_B - x_{j0}$). Формула (3.3) є лінійне перетворення факторного простору, тобто перенос початку координат у точку, що відповідає x_{j0} , та вибір масштабів за вісями в одиницях інтервалів варіювання.

3.2 Матеріали для досліджень. Зразки. Навантажувальні фактори

Як було зазначено у розділі 1, композитні матеріали, або як їх ще коротко називають композити, то матеріали, що складаються з двох або більше компонентів (шару-наповнювача та шару-матриці). Використання в одному матеріалі шарів з різними властивостями дозволяє отримати новий продукт з новими властивостями.

Таке визначення дозволяє віднести до композиційних матеріалів абсолютну більшість металевих матеріалів. Полімерні матеріали також можна віднести до композитів, оскільки крім основного компонента (полімеру) в них присутні різні наповнювачі

Класифікувати композити можна наступним чином [25]:

- за структурою (волокнисті, шаруваті, зміцнені частками);
- за матрицею: виробляються з полімерною, керамічною, або металевою матрицею.

Полімерні композити [26] – це самий найбільший клас композитів. Матрицею полімерних композитів слугують термопласти (зберігають свою

властивості при багаторазовому нагріванні та охолодженні) та термореактивні смоли (при нагріванні беззворотно змінюють свою структуру). Умовно вони поділяються наступним чином:

- склопластики, що складаються на 80% з силікатного скла. Відрізняються високою міцністю, низькою теплопровідністю, електроізолюючими властивостями та низькою вартістю;
- вуглепластики із штучними або природними волокнами на основі целюлози, похідних нафти та вугілля. Вони легше та міцніше склопластиків, не змінюють лінійних розмірів при змінах температур. Добре проводять струм. Здатні витримувати високі температури навіть в агресивному середовищі;
- боропластики з борними волокнами, нитками та джгутами. Дуже тверді та зносостійкі. Не бояться агресивних середовищ. Дорогі. Не витримують експлуатацію при великих температурах.

При проектуванні композитів враховуються всі технологічні та фізичні властивості сполук, усі види взаємодій між складовими композита, які можуть змінити характеристики матеріалу. У вірно створеній композиційній конструкції навантаження сприймається волокнами. Варто зазначити, що питома міцність (відношення межі міцності до щільності) таких волокон суттєво перевищує відповідну характеристику у металевих сплавів (таблиця 3.2) [26].

На рисунку 3.2 наведено криві витривалості матеріалів, що виконані з графіту, алюмінію, сталі та скловолокна. Як видно, при низькоцикловій втомленості властивості композитів не на багато гірша, ніж у металів, а при багато цикловій втомленості (більше 100 млн. циклів навантаження) найкращі характеристики міцності належать вуглепластику. Дослідження були проведені в Advanced Composite Materials Technology Research Centre at the Hong-Kong University of Science and Technology у 2010 г. (www.compositeblog.com).

Таблиця 3.2 - Порівняльні властивості конструктивних матеріалів

Властивості	Скловолокни		Органо- волокни, (СВМ, Кевлар)	Вуглеволокни з вуглецевими волокнами		Бороволокни, волокна В/В	Сплави		
	Скло Е	Скло S		Високо- міцні	Високо- модульні		Al	Ti	Fe
Щільність, г/см ³	2.1	2.0	1.25- 1.441	1.6-2.15	1.6	2.0-2.7	2.7- 2.8	4.5- 4.8	7.8- 8.1
Втомна міцність, МПа	200/140		-/180	350/250		350/200	130	500	550
Віброміц- ність, МПа	300/650		-/900	420/800		175/560	До 90	15	330
Термона- вантажес- ність, ГПа/к	3.0		1/4	1.08		10.8	16.8	10	24
Питома міцність, ГПа (г/см ³)	0.7-1.00/0.5- 0.6		1.4- 1.8/0.8- 1.20	0.70-1.0/0.4-0.6		0.6-0.3	0.14 - 0.16	0.27	0.16- 0.24
Питомий модуль пружності, ГПа (г/см ³)	21-32/11-2		59- 70/39-46	80-120/53-80		123	27	22- 24	25- 29

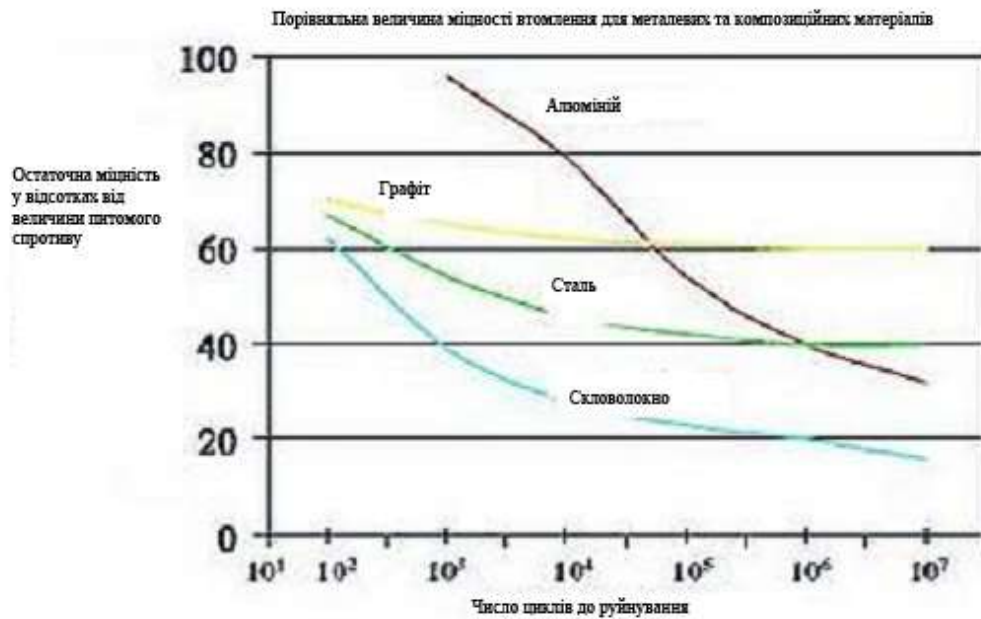


Рисунок 3.2 - Криві витривалості типових матеріалів

У наш час контроль за станом виробів з композитних матеріалів у експлуатації використовують різні стаціонарні методи неруйнівного контролю: ультразвуковий, тепловий, електричний, оптичний, тензометричний, звукової емісії [27]. А от дослідження композитів на абразивний знос в умовах динамічного навантаження знайдено не було.

Тому визначаємо розмір зразків (ДОДАТОК Г). Також зазначимо, що наш експеримент має відбуватися за повним факторним планом типу 2^k . До навантажувальних факторів належать:

$x_1=0-500\text{Н}$ – навантаження у контакті;

$x_2=0-10\text{ см/с}$ – швидкість переміщення зразка;

x_3 – зернистість шкурки Р60-Р120 з діаметром часток 265-115 мкм;

y – інтенсивність зношування.

У якості зразка для досліджень візьмемо поліоксиметилен (ПОМ). Це напівкристалічний термопластичний матеріал. Характеризується він низьким коефіцієнтом тертя та високим ступенем зносостійкості. На нього не впливають

вологі середовища. ПОМ має відмінну стійкість до широкого кола хімічних речовин, а також безлічі розчинників.

3.3 Проведення експерименту

Проведення експерименту є найважливішим та найбільш трудомістким етапом [22]. Експериментальні роботи необхідно проводити у відповідності із затвердженим планом-програмою та особливо методикою експерименту. Приступаючи до експерименту, остаточно уточнюють методику його проведення, послідовність випробувань. Іноді при цьому використовують Метод рандомізації, який полягає у тому, що досліди проводять у випадковій послідовності, яку визначають за допомогою переліку випадкових чисел. Цим способом виключають систематичні помилки, які можуть виникнути при суб'єктивному призначенні послідовності випробувань.

При експериментальному дослідженні складних процесів дуже часто виникають випадки, коли результат, який очікується, отримується пізніше. Тому необхідно проявляти витримку, наполегливість та довести дослідження до отримання результатів.

Особливе значення при проведенні експериментальних робіт має добросовісність. Іноді, прагнучи скоріше отримати потрібний результат, що підтверджує гіпотезу, обирають лише ті експериментальні дані, які добре узгоджуються з теоретичними припущеннями. У цьому випадку іноді випускаються з уваги важливі дані про досліджений експеримент, котрі пізніше можуть бути відновлені з великими труднощами.

В процесі проведення експериментальних робіт недопустима недбалість, яка призводить до великих спотворень, помилок. У зв'язку із цим експерименти повторюють, що збільшує тривалість експерименту.

Обов'язковою вимогою проведення експерименту є ведення журналу. Форма журналу може бути довільною, але повинна найкращим чином відповідати

процесу дослідження з максимальною фіксацією усіх факторів. В журналі фіксується тема роботи та тема дослідження, прізвище виконавця, час та місце проведення експерименту, характеристика навколишнього середовища, дані про об'єкт дослідження та засобах вимірювання, результати спостережень, а також інші дані для оцінки отриманих результатів.

При проведенні експерименту необхідно безперервно слідкувати за засобами вимірювання: стійкість та приладів та установок, відповідність їхніх показів, характеристики навколишнього середовища, а також під час проведення експерименту не допускати до нього нікого з сторонніх. Першочергову увагу необхідно приділяти контролю якості експериментальних робіт, тобто забезпечувати надійність роботи засобів вимірювань, відтворюваність вимірювань, дотримуватися необхідну точність та достовірність отриманих результатів.

Одночасно з вимірюванням необхідно проводити попередню обробку результатів та їх аналіз. Такий аналіз дозволяє контролювати процес дослідження, коректувати експеримент, покращувати методику та підвищувати ефективність експерименту.

Спочатку результати вимірювань зводять до таблиці за відповідними характеристиками для різних досліджуваних питань. Дуже ретельно вивчають цифри, які різко контрастують у статистичному ряді спостережень. При аналізі цифр необхідно встановити точність, з якою необхідно проводити обробку дослідних даних. Точність обробки не повинна бути вищою, ніж точність вимірювань.

Особливе місце належить аналізу експерименту. Це завершуюча частина, на основі якої роблять висновок про підтвердження гіпотези дослідження. Аналіз експерименту це творча частина дослідження. Іноді за цифрами важко уявити фізичну суть процесу. Тому необхідне особливо ретельне співвідношення фактів, причин, обумовлюючих хід того чи іншого процесу та встановлення адекватності гіпотези та експерименту.

3.4 Методика визначення зносу

При дослідженнях визначають лінійний знос (h) безпосереднім вимірюванням пари зразків за допомогою двох індикаторних годинників з ціною розподілу 0,001 мм, які встановлено на виделці (рисунок 1.7), що дозволяє визначити величину зносу в будь-який момент часу, не знімаючи зразків з установки. При цьому величина зносу знаходиться з різниці показників індикаторів до та після встановленого (необхідного) числа циклів навантаження.

Інтенсивність зношування розраховується як величина об'єму зношеного матеріалу до кількості циклів контактування:

$$J_v = V/n, \quad (3.4)$$

де J_v –інтенсивність зношування, мм³/цикл;

V – об'єм зношеного матеріалу, мм³;

n –кількість циклів навантаження.

Об'єм зношеного матеріалу вираховується з профілограм, що знімаються за допомогою профілографа-профілометра заводу «Калібр» моделі 201:

$$V = V_{\text{л}} + V_{\text{адг}} \quad (3.5)$$

$$V_{\text{л}} = \frac{\pi}{4} [d^2 - (d-l)^2], \quad (3.6)$$

де $V_{\text{л}}$ – лінійна складова об'єму зношеного матеріалу, мм³;

$h_{\text{л}}$ – величина лінійного зносу зразка, мм;

F – контурна площа контакту зразка після випробувань, мм²;

$V_{\text{адг}}$ – адгезійна складова об'єму зношеного матеріалу, мм³.

Величина адгезійної складової об'єму матеріалу розраховується виразом:

$$V_{\text{адг}} = R F K_n, \quad (3.7)$$

де $R = 1/n \sum_{i=1}^n R_i$ – середня глибина пошкоджень (рисунок 3.3), мм;

K_n – коефіцієнт, який враховує нерівномірність пошкоджень за площиною контакту.

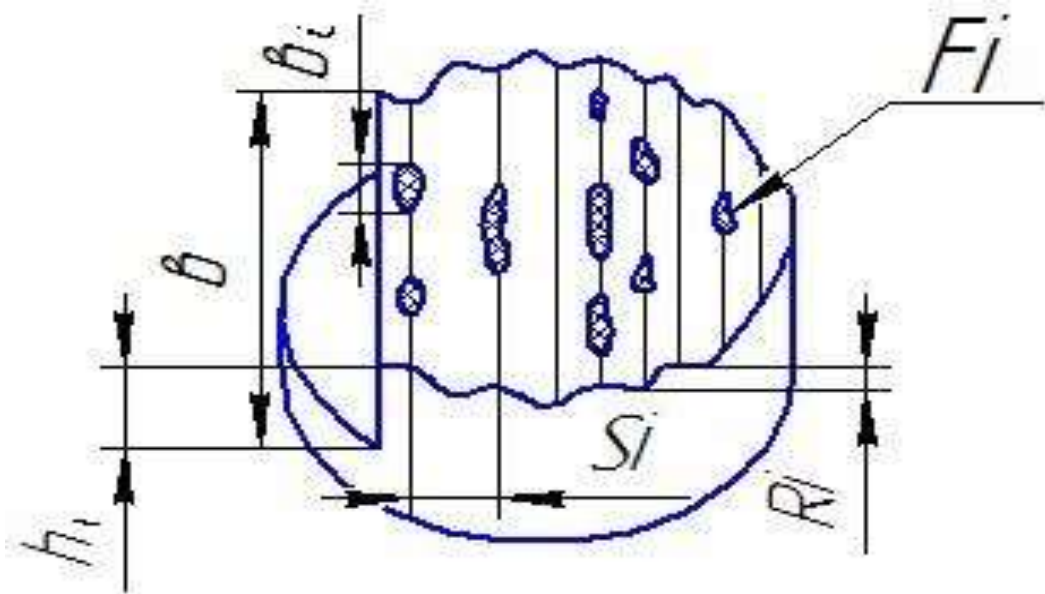


Рисунок 3.3 – Схема до визначення величин об'єму зношеного матеріалу

Коефіцієнт нерівномірності пошкоджень залежить від форми мікрорельєфу зношеної поверхні. Найчастіше зустрічаються окремі вириви, на слідах зносу з борознами уздовж напрямку ковзання (регулярний мікрорельєф), у вигляді еліпсу неправильної форми або паралелограму. У загальному випадку K_n може бути знайдено з відношення суми площин окремих виривів до контурної площини контакту.

$$K_n = F_1 / F, \quad (3.8)$$

де F_1 – сумарна площа окремих виривів на регулярному мікрорельєфі, мм²;

F – контурна площа контакту (регулярного мікрорельєфу), мм^2 .

$$F_l = \sum_{i=1}^n F_i, \quad (3.9)$$

де F_i – елементарна площа пошкодження.

Для пошкоджень типу еліпсу

$$F_i = 2 \int_{-c}^{+d} d / c \sqrt{c^2 - x^2} dx, \quad (3.10)$$

де c та d – вісі еліпсу.

Інтегруючи вираз (3.10), отримаємо:

$$F_i = \pi cd. \quad (3.11)$$

Підставивши замість c та d їх позначення (рисунк 3.3), знаходимо:

$$F_i = 1,57 S_i B_j, \quad (3.12)$$

тоді

$$F_l = 1,57 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m S_i B_j. \quad (3.13)$$

Контурна площа контакту:

$$F = B \sum_{i=1}^n S_i / 2 = Bl. \quad (3.14)$$

Тоді коефіцієнт нерівномірності пошкоджень:

$$K_H = (1,57 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m S_i B_j) / B_l \quad (3.15)$$

У випадку форми пошкоджень у вигляді паралелограму (на плані) коефіцієнт нерівномірності може бути знайдений із відношення суми об'ємів елементарних пошкоджень до об'єму пошкоджень при регулярному мікрорельєфі.

$$K_H = V_1 / V, \quad (3.16)$$

де V_1 – сумарний об'єм окремих виривів, мм^3 ;

V – об'єм пошкоджень при регулярному мікрорельєфі, мм^3 .

$$V_1 = \sum_{i=1}^n V_i. \quad (3.17)$$

Об'єм елементарного вириву:

$$V_i = \frac{1}{12} S_i^2 R_j. \quad (3.18)$$

Тут допускається, що глибини елементарного пошкодження та пошкоджень регулярного мікрорельєфу рівні.

$$V_1 = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^n S_i^2 \sum_{j=1}^m R_j. \quad (3.19)$$

Об'єм пошкоджень при регулярному мікрорельєфі:

$$V = \frac{1}{2}b \sum_{i=1}^n \frac{S_i}{2} \sum_{j=1}^m R_j. \quad (3.20)$$

Підставивши у вираз (1.20) вираз об'ємів V_1 та V знаходимо:

$$K_H = \frac{1}{2b} \sum_{i=1}^n S_i. \quad (3.21)$$

3.5 Статистичний аналіз повного факторного експерименту

Цесі факторного експерименту та його наступної обробки результати, а також регресійна модель явища піддаються статистичному аналізу, який дозволяє впевнитися у їх достовірності, оцінити точність, а у ряді випадків отримати з експерименту додаткову інформацію про сутність досліджуваного явища [23].

Перевірка відтворення експериментальних даних проводиться на основі перевірки однорідності вибірових дисперсій. При відомих значеннях $\overline{y_v}$ для кожної точки плану експерименту обчислюються построківі дисперсії за формулою

$$S_v^2 = \frac{1}{m} \sum (y_i - \overline{y_v}), \quad (3.22)$$

де m – число змін, що повторюються у кожній точці плану.

Перевірка однорідності отриманих дисперсій проводиться з використанням критерію Фішера або Кохрена. При цьому слід мати на увазі, що використання критерію Фішера при числі більше двох неефективне, оскільки в оцінці

приймають участь найбільша та найменша дисперсії. Критерій Кохрена придатний для тих випадків, коли число повторних експериментів у всіх точках плану однакове. Тому він частіше використовується при перевірці построккових дисперсій.

Для випадку, який розглядається, експериментальне значення критерію Кохрена визначається відношенням

$$G = \frac{S_{v,\max}^2}{\sum_{v=1}^k S_v^2}, \quad (3.23)$$

Порівнявши яке з критичним значенням $G_{кр}$, можна зробити відповідні висновки. Якщо $G < G_{кр}$ для обраних рівнів значимості та числа ступенів свободи, то гіпотеза про однорідність побудованих дисперсій S_v^2 приймається. Далі можна обчислити середню дисперсію відтворення одиничного результату

$$S^2\{y\} = \frac{1}{k} \sum_{v=1}^k S_v^2, \quad (3.24)$$

котра являє собою середню арифметичну величину з k дисперсій різних варіантів експерименту.

Можна також визначити середню для всього експерименту дисперсію відтворення середнього значення величини $\bar{y}$ за формулою

$$S^2\{\bar{y}\} = S^2\{y\}/m. \quad (3.25)$$

Перевірка значимості коефіцієнтів регресійної моделі проводиться незалежно для кожного коефіцієнта з використанням t-критерію Стюдента. Спочатку розраховується дисперсія окремого коефіцієнта регресії; при

рівномірному дублюванні експериментів у всіх точках плану з текспериментами, що повторюються, вона визначається виразом

$$S^2\{b_i\} = S^2\{y\}/mk. \quad (3.26)$$

Далі знаходиться експериментальне значення критерія Стюдента за формулою

$$t_i = |b_i| / \sqrt{S^2\{b_i\}}. \quad (3.27)$$

Якщо $t_i < t_{кр}$ для обраних рівня значимості та числа ступенів свободи, то коефіцієнт b_i визнається значущим, в іншому випадку – статистично не значущим ($b_i=0$). Після перевірки значимості усіх коефіцієнтів складається регресивна модель явища, яка пов’язує параметр y із змінними x_i та що включає в себе тільки значущі коефіцієнти регресії.

Статистична значимість коефіцієнту регресії може бути зумовлена великою похибкою експерименту внаслідок впливу неконтрольованих та некерованих факторів, малим інтервалом варіювання фактору $\Delta\tilde{x}_i$, відсутністю функціонального зв’язку даної змінної з величиною y . У деяких випадках статистична не значимість коефіцієнта регресії може бути пов’язана з тим, що основний рівень фактору $\tilde{x}_{i,0}$ близький до точки частого екстремуму за змінною x_i . В залежності від конкретної величини необхідно вжити заходів до зменшення похибки експерименту, збільшенню інтервалу варіювання фактору або стабілізації фактору на певному рівні.

Значимість коефіцієнту регресії при творі факторів свідчить про те, що дія одного з них залежить від рівня, на якому знаходиться інший фактор.

Отриману в результаті факторного експерименту регресійну модель явища слід перевірити на адекватність – відповідність математичній моделі та експериментальним даним з необхідною ступінню точності. Перевірка гіпотези

про адекватність моделі здійснюється на основі оцінки відхилення величини u , розрахованою за регресивним рівнянням, від результатів експериментального визначення u у різних точках простору.

При рівному числі експериментів, що повторюються у кожній точці плану дисперсія адекватності визначається виразом

$$S_a^2 = \frac{m}{kr} \sum_{v=1}^k (\hat{y} - \bar{y}_v)^2, \quad (3.28)$$

де r – число значущих коефіцієнтів з регресійної моделі.

Перевірка гіпотези адекватності моделі проводиться з використанням критерію Фішера, який для умов, що розглядаються записується у наступному вигляді:

$$F = S_a^2 / S^2\{y\}, \quad (3.29)$$

де $S^2\{y\}$ - дисперсії відтворення.

Якщо $F < F_T$ для вибраних рівнів значимості та числа ступенів свободи $f_a = k - 2$ та $f_b = k(m - 1)$, то регресійна модель визнається адекватною реальному явищу та може використовуватися у практичних розрахунках.

Перевірка ж адекватності регресійної моделі, як видно з наведених формул, можлива тільки при $f_a > 0$. У випадку коли $k = r$ ($f_a = 0$), адекватність моделі перевіряється різницею $b_0 - \bar{y}_0$. Якщо дана різниця значуща, то це вказує на неадекватність лінійної моделі, а також моделі, що містить взаємодію факторів.

3.6 Обробка результатів експерименту

У наш час математична статистика використовується майже при будь якому дослідженні. Спирається вона на теорію ймовірностей та використовується для

обробки дослідних даних, що зумовлено випадковим характером вимірюваних величин та помилок вимірювання; великим різноманіттям факторів, що впливають на досліджувані процеси, багато яких зовсім не піддаються безпосередньому обліку, та значним об'ємом вибірки, особливо при вивченні масових виробничих процесів.

При багатократних вимірюваннях отримують різні значення величини; відповідне емпіричне середнє є оцінкою математичного очікування – найважливішої числової характеристики випадкових величин. Методи математичної статистики дають можливість оцінити достовірність отриманого результату та область, у якій з необхідною ступінню ймовірності буде знаходитися значення, що шукається. Статистична обробка результатів спостережень дозволяє замінити суб'єктивну оцінку явищ об'єктивною, якісний аналіз доповнити кількісним описом. При цьому необхідно особливо підкреслити, що надійність статистичного аналізу та його достовірність залежать від точності вихідних даних.

Загальне уявлення про характер та структуру досліджуваної сукупності експериментальних величин дають криві частотного розподілу. Для побудування частотних характеристик увесь діапазон варіювання досліджуваного параметру розбивають на ряд інтервалів. Число останніх не повинно бути більшим, тому що у цьому випадку в окремі інтервали попадає мало точок та усереднення за ними може бути нехарактерним для даної залежності. При більшому числі інтервалів можна не виявити осоті досліджуваного об'єкта, тому що відбувається згладжування кривої. Кількість інтервалів повинно бути непарним. Оптимальний розмір інтервалу I може бути розрахований за формулою

$$I = \frac{P}{1 + 3.322 \lg n}, \quad (3.30)$$

де $P = x_{\max} - x_{\min}$ – розмах варіації, різниця між максимальним та мінімальним значенням фактору; n – кількість експериментальних даних.

У межах кожного інтервалу підраховують кількість точок та знаходять частину або відсоток від загальної кількості виборок. Ці величини надають у вигляді графіків. На вісі абсцис відкладають інтервали або їх середнє значення, а на вісі ординат – частоту випадків f . Частотний розподіл може бути надано кумулятивною кривою. У цьому випадку послідовно підсумовується частота усіх інтервалів, починаючи з найменшого.

Основним методом статистичної обробки досліджуваного матеріалу є метод найменших квадратів, суть якого полягає у тому, що сума квадратів відхилень дослідних даних від шуканої лінії регресії повинна бути мінімальною. Це відхилення характеризується дисперсією σ^2 . Дисперсія являє собою середній квадрат відхилення величин ряду від середньої арифметичної:

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}, \quad (3.31)$$

де $\bar{x}$ - середнє арифметичне значення величини.

Середньоквадратичним відхиленням σ називають корінь квадратний з дисперсії:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}}. \quad (3.32)$$

Для порівняння коливання ознаки різних рядів використовують коефіцієнт варіації v , який виражається у відсотках середньоквадратичного відхилення від середньої арифметичної.

Залежність між двома або декількома величинами та її достовірність визначають за дослідними даними за допомогою методу регресійного аналізу.

При цьому будують математичну модель процесу у вигляді полінома n -го ступеня (не вище третього). Задача зводиться до вибору функції моделі, пошуку коефіцієнтів рівняння регресії, перевірці його адекватності та визначення довірчих інтервалів для коефіцієнтів. Адекватність моделі, тобто ступінь її відповідності генеральній сукупності експериментальних даних, встановлюють за допомогою таблиць Фішера та Стюдента (за критеріями Фішера та Стюдента). У ході перевірки визначають середньоквадратичне відхилення експериментальних даних від розрахункової лінії регресії (розраховують дисперсію адекватності та зрівнюють цю величину з дисперсією експериментальних даних. Отримане розрахункове значення зрівнюють з табличним. Якщо розрахункова величина критерію Фішера менше за табличне значення, то це означає, що отримане рівняння з відповідною долею ймовірності описує дослідні дані. Довірливі інтервали для коефіцієнтів регресії знаходять із заданою ймовірністю (0,95 або 0,99) за величиною критерію Стюдента.

Методом кореляційного аналізу вивчають залежність між випадковими величинами, які не мають функціонального зв'язку. Задача полягає у знаходженні залежності та виявленні тісноти зв'язку (коефіцієнту кореляції). У найпростішому випадку визначається зв'язок між двома величинами (парна кореляція). У цих випадках параметри не мають строгої функціональної залежності одна від одної та можуть випадково змінюватися у широкому діапазоні, тому що вони визначаються великою кількістю факторів, пов'язаних з технологією процесу, конструкцією агрегату та організацією робіт.

Якщо величини X та Y підпорядковуються закону нормального розподілу, то рівняння прямих регресій описуються виразами: при регресії X по Y

$$\frac{x - \bar{x}}{\sigma_x} = r_1 \frac{y - \bar{y}}{\sigma_y}; \quad (3.33)$$

при регресії Y по X

$$\frac{y - \bar{y}}{\sigma_y} = r_2 \frac{x - \bar{x}}{\sigma_x}, \quad (3.34)$$

де $\bar{x}$ та $\bar{y}$ - відповідні середні значення X та Y ; σ_x , σ_y – середньоквадратичні відхилення X та Y ; r_1 та r_2 – коефіцієнти кореляції.

Коефіцієнт кореляції – безрозмірна величина, яка знаходиться у межах від 1 до -1. Він характеризує міру лінійної залежності між факторами X та Y . Для незалежних випадкових величин коефіцієнт кореляції дорівнює нулю. У випадку лінійної залежності двох змінних він дорівнює 1 або -1.

На значення коефіцієнта кореляції не впливають масштаб величина та зміна початку підрахунку. Це дуже важливо для спрощення обчислювальних операцій. Коефіцієнт кореляції розраховується за формулою

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{(n-1)\sigma_x \sigma_y} \quad (3.35)$$

Для практичних розрахунків більш зручно користуватися рівнянням

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - n\bar{x}\bar{y}}{(n-1)\sigma_x \sigma_y}, \quad (3.36)$$

де n – кількість даних.

3.7 Методи графічного зображення результатів вимірювань

При обробці результатів вимірювань та спостережень дуже широко використовують метод графічного зображення [22].

Результати вимірювань, які надані у табличному вигляді, не дозволяють достатньо наочно характеризувати закономірності процесів, що вивчаються.

Графічне зображення дає найбільш наглядне уявлення про результати експериментів, дозволяє краще зрозуміти фізичну сутність досліджуваного процесу, виявити загальний характер функціональної залежності досліджуваних змінних величин, встановити наявність максимуму та мінімуму функції.

Після обробки результатів вимірювань та оцінки ступеня точності необхідно їх звести у таблицю для аналізу. Дані таких таблиць обробляються графічними методами.

Для графічного зображення результатів вимірів, як правило, використовують систему прямокутних координат. Якщо аналізується графічним методом функція $y=f(x)$, то у системі координат наносять значення $x_1y_1, \dots, x_ny_n$ (рисунок 3.4) Перш ніж будувати графік, необхідно знати хід досліджуваного явища. Зазвичай, якісні закономірності та форма графіка орієнтовно відома з теоретичних досліджень.

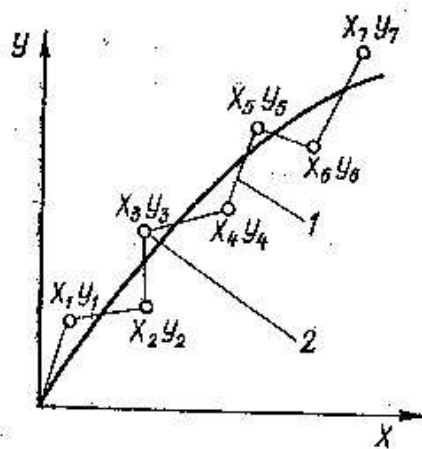


Рисунок 3.4 - Графічне зображення функції $y=f(x)$;
1 – крива за результатами безпосередніх вимірів; 2 – плавна крива

Точку на графіку необхідно з'єднувати плавною лінією так, щоб вона якомога ближче проходила до всіх експериментальних точок. Якщо з'єднати точки прямими відрізками, то отримаємо ламану криву. Вона характеризує зміну функції за даними експеримента. Різке викривлення графіку

прояснюється похибками вимірювань. Якщо експеримент повторити з використанням засобів вимірювання більш високої точності, то отримані похибки були б менші, а ламана крива більше б відповідала плавній кривій.

Однак можуть бути виключення. Так, іноді досліджуються явища, для яких у певних інтервалах спостерігається різка стрибкоподібна зміна однієї з координат (рисунок 3.5). Це пояснюється сутністю фізико-хімічних процесів. У таких випадках необхідно особливо ретельно з'єднувати точки кривої. Загальне «середнє» усіх точок плавної кривої може привести до того, що стрибок функції підмінюється похибками вимірів.

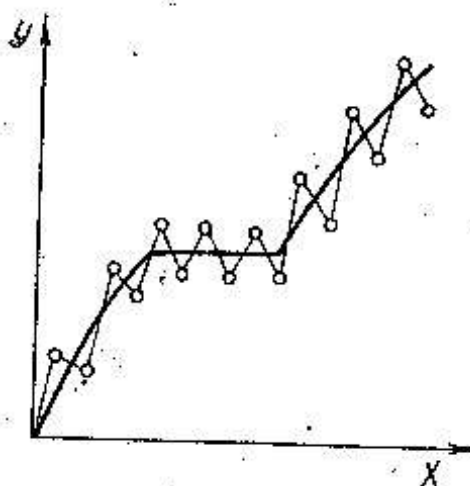


Рисунок 3.5 - Графічне зображення функції $y=f(x)$ при наявності стрибка

При графічному зображенні результатів експериментів велику роль відіграє вибір системи координат або координатної сітки. Координатні сітки бувають рівномірні та нерівномірні. У рівномірних координатних сіток ординати та абсиси мають рівномірну шкалу. З нерівномірних координатних сіток найбільш розповсюджені напівлогарифмічні, логарифмічні та ймовірнісні.

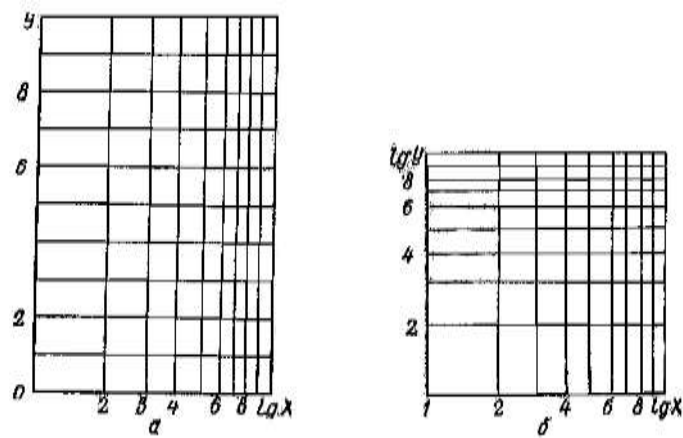


Рисунок 3.6 - Координатна напівлогарифмічна (а) та логарифмічна (б) сітки

Напівлогарифмічна сітка має рівномірну дугу рівномірну ординату та логарифмічну абсцису (рисунок 3.6)

Логарифмічна координатна сітка має обидві вісі логарифмічні (рисунок 3.6), ймовірнісна – ординату, зазвичай рівномірну, та абсцису – ймовірнісну шкалу (рисунок 3.7).

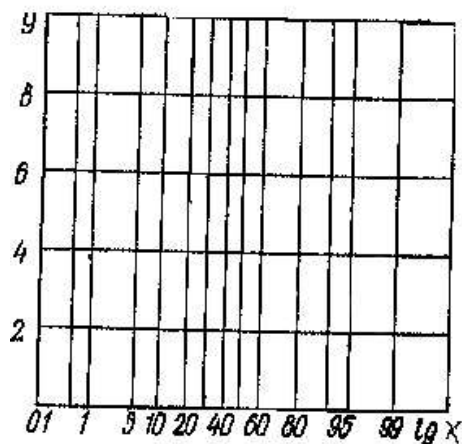


Рисунок 3.7 - Координатна імовірнісна сітка

Призначення імовірнісних сіток різне. У більшості випадків їх використовують для більш наочного відображення функцій. Функція $y=f(x)$ має

різну форму на різних сітках. Так, багато криволінійних функцій спрямляють на логарифмічних сітках.

Велике значення на практиці графічного зображення експериментальних даних має імовірнісна сітка, яка використовується у різних випадках: при обробці вимірів для оцінки їх точності, при визначенні розрахункових характеристик.

Іноді у процесі обробки експериментальних даних графічним способом необхідно скласти розрахункові графіки, які прискорюють нахождення за однією змінною інших. При цьому суттєво підвищуються вимоги до точності викреслювання функції на графіку.

Викреслюючи розрахункові графіки, необхідно керуватися наступними практичними рекомендаціями. В залежності від числа змінних необхідно обрати координатну сітку та визначити вид графіку – одна крива, сімейство кривих або серія сімейств. Велике значення набуває вибір масштабу графіка, що пов'язано із розмірами креслень та, відповідно, з точністю значень величин, які з нього знімаються. Відомо, що чим більший масштаб, тим вища точність значень які знімаються. Однак, як правило, графіки не перевищують 20x15 см, що є зручним при складанні звітів. Лише в окремих випадках використовують графіки великих розмірів.

Масштаб за координатними вісями зазвичай використовують різний. Від його вибору залежить форма графіку – він може бути пласким (вузьким) або витягнутим (широким) уздовж вісі (рисунок 3.8). Вузькі графіки дають більшу похибку за віссю y , широкі - за віссю x . З рисунка видно, що вірно підібраний масштаб (нормальний графік) дозволяє суттєво підняти точність розрахунків.

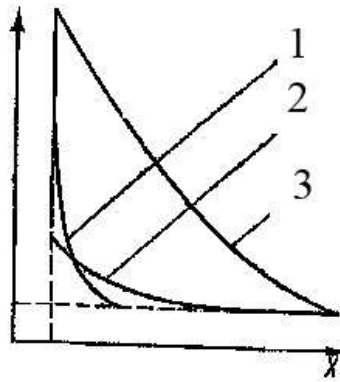


Рисунок 3.8 - Форма графіка в залежності від масштабу
1 – пласка; 2 – розширена; 3 – нормальна

Розрахункові графіки, які мають максимум (мінімум) функції або будь-який складний вид, особливо ретельно необхідно викреслювати у зонах вигину. На таких ділянках кількість точок для викреслювання графіку не повинно бути значно більше, ніж на плавних ділянках.

У деяких випадках будують номограми, суттєво полегшуючі використання для систематичних розрахунків складних теоретичних або емпіричних формул у деяких межах вимірювання величин. Номограмованими можуть бути будь які алгебраїчні вирази. Як результат – складні математичні вирази можна вирішувати відносно простими графічними методами. Побудова номограм – трудомістка операція. Але, одного разу побудована, номограма дає змогу знаходити будь яку змінну, яка входить у номографічне рівняння.

Існує декілька методів побудови номограм. Для цього використовують рівномірні та нерівномірні координатні сітки. У системі прямокутних координат функції у більшості випадків на номограмах мають криволінійну форму. Це збільшує трудомісткість, оскільки необхідна більша кількість точок для нанесення однієї кривої.

У напів- та логарифмічних координатних сітках функції мають прямолінійну форму та складання номограм спрощується.

Методика побудови номограм функції однієї змінної $y=f(x)$ або багатьох $y=f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ зводиться до побудови кривої, сімейства або серії сімейств шляхом прийняття сталих та знаходження однієї змінної.

3.8 Оцінка результатів вимірювань, які містять грубі помилки

Поява цих помилок цілком ймовірно, а наявність їх суттєво впливає на результат вимірювань. Так, вже одна груба помилка у 25 вимірюваннях значно спотворює експериментальні дані. При аналізі експерименту необхідно перш за все виключити грубі помилки. Однак перш ніж виключити той чи інший вимір, необхідно вдосконалитися, що то дійсно груба помилка, а не відхилення внаслідок статистичного розкиду.

Відомо декілька методів визначення грубих помилок статистичного ряду. Нехай є статистичний ряд малої вибірки, який підпорядковується закону нормального розподілу. При наявності грубих помилок критерії їх появи

$$\beta_1 = \frac{x_{\max} - \bar{x}}{\sqrt{\frac{n-1}{n}}\sigma}; \quad \beta_2 = \frac{\bar{x} - x_{\min}}{\sqrt{\frac{n-1}{n}}\sigma}, \quad (3.37)$$

де $x_{\max}$, $x_{\min}$ – найбільше та найменше значення з n вимірів.

У Таблиці 3.3 наведені в залежності від довірчої імовірності максимальні значення $\beta_{\max}$ що виникають внаслідок статистичного розкиду. Якщо $\beta_1 > \beta_{\max}$, то значення $x_{\max}$ необхідно виключити із статичного ряду як грубу похибку. При $\beta_2 < \beta_{\max}$ виключається величина $x_{\min}$.

Другий метод встановлення грубих помилок заснований на використанні критерію В.І. Романовського а також може застосовуватися для малої вибірки. Задаються довірчою імовірністю $\Phi(t)$ та за Таблицею 4.3 в залежності від n знаходять коефіцієнт q .

Таблиця 3.3 - Максимальні значення $\beta_{\max}$ що виникають внаслідок статистичного розкиду

n	$\beta_{\max}$ при $\Phi(t)$			n	$\beta_{\max}$ при $\Phi(t)$		
	0.90	0.95	0.99		0.90	0.95	0.99
3	1.41	1.41	1.41	15	2.33	2.49	2.80
4	1.64	1.69	1.72	16	2.35	2.52	2.84
5	1.79	1.87	1.96	15	2.38	2.55	2.87
6	1.89	2.00	2.13	18	2.40	2.58	2.90
7	1.97	2.09	2.26	19	2.43	2.60	2.93
8	2.04	2.17	2.37	20	2.45	2.62	2.96
9	2.10	2.24	2.46	25	2.54	2.72	3.07
10	2.15	2.29	2.54	30	2.61	2.79	3.16
11	2.19	2.34	2.61	35	2.67	2.85	3.22
12	2.23	2.39	2.66	40	2.72	2.90	3.28
13	2.26	2.43	2.71	45	2.76	2.95	3.33
14	2.30	2.46	2.76	50	2.80	2.99	3.37

Розраховують гранично допустиму абсолютну похибку окремого вимірювання

$$\varepsilon_{np} = \sigma_q \cdot \quad (3.38)$$

Якщо $\bar{x} - x_{\max} > \varepsilon_{np}$, то вимірювання $x_{\max}$ виключають з ряду спостережень

Цей метод більш вимогливий до очистки ряду.

При глибокому аналізі експериментальних даних рекомендується наступна методика.

Таблиця 3.4 - Довірчі імовірності $\Phi(t)$

n	Значення q при $\Phi(t)$			
	0.95	0.98	0.99	0.995
2	15.56	38.97	77.96	779.7
3	4.97	8.04	11.46	36.5
4	3.56	5.08	6.53	14.46
5	3.04	4.10	5.04	9.43
6	2.78	3.64	4.36	7.41
7	2.62	3.36	3.96	6.37
8	2.51	3.18	3.71	5.73
9	2.43	3.05	3.54	5.31
10	2.37	2.96	3.41	5.01
12	2.29	2.83	3.23	4.62
14	2.24	2.74	3.12	4.37
16	2.20	2.68	3.04	4.20
18	2.17	2.64	3.00	4.07
20	2.15	2.60	2.93	3.98
∞	1.96	2.33	2.58	3.29

1. Після отримання експериментальних даних у вигляд статистичного ряду його аналізують. Зробивши повторні вимірювання в одних і тих самих умовах, попередньо виключають систематичні помилки.

2. Аналізують ряд з метою виявлення грубих помилок та промахів:

- встановлюють підозрілі значення $x_{\max}$ або $x_{\min}$;
- визначають середньоквадратичне відхилення σ ;
- обчислюють критерії β_1 , β_2 та зрівнюють з $\beta_{\max}$, $\beta_{\min}$ або $\sigma_{\text{пр}}$;
- виключають при необхідності із статичного ряду $x_{\max}$ або $x_{\min}$ та отримують новий очищений статистичний ряд з нових n членів.

3. Вираховують середньоарифметичне $\bar{x}$, похибки окремих вимірювань $x - x_i$, та середньоквадратичне очищеного ряду σ .

4. Знаходять середньоквадратичне σ_0 серії вимірювань, коефіцієнт варіації K_v .

5. При великій вибірці задаються довірливою імовірністю $\Phi(t)$ або рівнянням значності $1-\Phi(t)$ знаходять t . При малій вибірці ($n \leq 20$) в залежності від прийнятої довірливої ймовірності $\Phi_{ст}$ та числа членів ряду n приймають коефіцієнт Стюдента $\alpha_{ст}$.

7. Встановлюють дійсне значення досліджуваної величини.

8. Оцінюють відносну похибку результатів серії вимірів при заданій довірливій імовірності $\Phi(t)$ або $\Phi_{ст}$

$$\delta = \frac{\sigma_0 \alpha_{ст}}{\bar{x}} 100, \% \quad (3.39)$$

Якщо величина похибки серії вимірювань порз величиною похибки приладу $B_{пр}$, то межі довірливого інтервалу можна розрахувати так:

$$\mu_{ст} = \sqrt{\alpha_{ст}^2 \sigma_0^2 + \left[\frac{\alpha_{ст}(\infty)}{3} \right]^2 B_{пр}^2} \quad (3.40)$$

Висновки до розділу 3.

З огляду на те, що на сьогоднішній день відсутня будь яка методологія проведення дослідження полімерних матеріалів на абразивний знос з урахуванням динаміки навантаження, пропонується методика проведення експериментальних досліджень з використанням розробленої установки, яка включає:

1. Математичне планування експерименту. Пропонується повний багатофакторний експеримент 2^3 .

2. Вибрані навантажувальні фактори: швидкість переміщення зразка, зернистість шкурки, навантаження у контакті при наявності нормального осцилюючого переміщення зразка.

3. Наведено порядок проведення експерименту.

4. Вибрано методику вимірювання зносу, в якій величина об'єму зношеного матеріалу визначається як сума лінійної та адгезійної складових.

5. Наведено методику статистичного аналізу повного факторного експерименту та обробки їх результатів.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Оскільки тема дипломної роботи «Дослідження процесів зношування полімерних матеріалів з урахуванням динаміки навантаження» передбачає роботу у приміщенні (дослідницькій лабораторії), яка обладнана персональними комп'ютерами (далі ПК) з візуальними дисплейними терміналами (далі ВДТ), тому розглянемо потенційні небезпеки, що можуть виникати в процесі роботи на механічній дільниці та заходи по забезпеченню безпеки, виробничої санітарії, гігієни праці і пожежної безпеки у відповідності з методичними вказівками (Додаток Д).

Висновки до розділу 4.

Таким чином, для приміщення, що обладнано персональними комп'ютерами з візуальними дисплейними терміналами передбачено комплекс заходів по забезпеченню безпеки, виробничої санітарії, гігієни праці і пожежної безпеки забезпечує безпечні та комфортні умови праці персоналу.

ВИСНОВКИ

На основі виконаної роботи з позиції дослідження процесів абразивного зношування полімерних матеріалів з урахуванням динаміки навантаження пропонуються основні елементи проведення досліджень, результати яких слугуватимуть підставою застосування полімерів у практиці як загального, так і спеціального машинобудування.

1. Проведено аналітичний огляд літературних джерел та Internet-видань, з якого виходить, що результати дослідження абразивного зношування при динамічному контактному навантаженні відсутні. Дослідження проводилися лише при однонаправленому терті ковзання, що не дає можливості використовувати їх для роботи трибоз'єднань за умов підвищених вібрацій.

2. Пошук різновидів експериментальних установок і методик досліджень зношування з урахуванням динаміки навантаження свідчить про відсутність їх у світовій практиці.

3. Вперше поставлені і вирішені завдання фізичного моделювання абразивного зношення полімерних матеріалів за умов динамічного контактного навантаження.

4. Розроблено і обґрунтовано необхідними розрахунками, конструкцією нової установки для дослідження абразивного зношування полімерних матеріалів при прикладанні нормального осцилюючого навантаження на зразок, який переміщується у повздовжньому напрямку.

5. Підготовано та подано в Укрпатент матеріали заявки на винахід.

6. Пропонується методика проведення дослідження зношування полімерних матеріалів з використанням розробленої установки та математичного планування експериментів.

7. Удосконалено методику вимірювання об'ємного зносу досліджуваного матеріалу з використанням поєднання методів профілографування та штучних баз з урахуванням нерівномірності розташування контурних площ контакту.

8. На основі проведених досліджень будуть розроблені технічні рекомендації щодо використання полімерних матеріалів у трибовузлах машин, таких як, наприклад, зубчасті передачі (виготовлених з полімерних матеріалів), підшипники ковзання з полімерними втулками, напрямні металорізальних верстатів, відновлені за допомогою полімерних матеріалів і таке інше.

Перелік джерел посилання

1. Електронна енциклопедія [Електронний ресурс] // <https://ru.wikipedia.org/wiki/Трибология>
2. Електронна енциклопедія [Електронний ресурс] // <https://ru.wikipedia.org/wiki/Трение>
3. Основы технологии переработки пластмасс: Учебник для вузов / С.В.Власов, Э.С. Калинин, Л.Б. Кандырин и др. – М.: Химия, 1995. – 528 с.
4. Головчук С.А. Будова та механізм утворення неорганічної складової гібридних полімерів на основі сполук алюмінію та поліфеніленів: магістерська дисертація. – К., 2018. – 102 с.
5. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология: уч. пособие / М.Л. Кербер, В.М. Виноградов, Г.С. Головкин и др.; под ред. А.А. Берлина. – СПб: Профессия, 2008 – 560 с.
6. Мур. Д Трение и смазка эластомеров, изд-во «Химия», М., 1977
7. James D.I., Abrasion of Rubber, McLaren, Lond., 1967
8. Д. Мур Основы и применения трибоники: -Пер. с англ. канд. физ.-мат. наук С.А. Харламова: М.: Мир, 1978. -488.: ил.
9. ГОСТ 11012-69. Пластмассы. Метод испытаний на абразивный износ. Введ. 1969-07-01. - М.: Изд-во стандартов, 1970. - С. 10 (прототип).
- 10.База знань allbest.ru [Електронний ресурс] // <https://knowledge.allbest.ru/manufacture/d-3c0b65635b3ac78b5c43b89421306c27.html>
- 11.Довідник [Електронний ресурс] // <https://tehprivod.su/poleznaya-informatsiya/kak-rasschitat-potreblyaemuyu-moshchnost-dvigatelya.html>
12. Довідник [Електронний ресурс] // <https://tech-privod.com/index.pl?act=SECTION§ion=chervyachnye+motor-reduktory>

- 13.Електроустаткування [Електронний ресурс] // <https://electrosam.ru/glavnaja/jelektrooborudovanie/ustrojstva/solenoidy/>
- 14.Польцер Г., Майнер Ф. Основы трения и изнашивания: -Пер с нем. . М.: Машиностроение, 1984. -264 с.
- 15.Трение и износ материалов на основе полимеров. Минск: Наука и техника, 1976. 432 с. (Авт.: Белый В.А., Свириденко А.И., Петраковец М.И., Савкин В.Г.)
- 16.Pavelescu D. Neuere Anschauungen? Berechnungen und Anwendungen auf der Gebieten Reibung und Verschleib/ Bukarest: Verlag der Sozialistischen Republik Rumanien 1971
- 17.Drier H. Strickle E. Les materies plastiques dans la fabrication d'elements de machines Revue Franc. des Techn. Mondiales, (1970) s, S. 19-22.
- 18.Internet–магазин [Электронный ресурс] // <https://arduino.ua/prod3282-solenoid-12v-0-2a-jf-0826b>
- 19.ПЕРЕДАЧА ВИНТ – ГАЙКА: учебное пособие / сост. В. О. Варганов, М.В. Аввакумов, М. В. Колычев, В.М. Гребенникова, В. А. Романов; СПбГТУРП. – СПб., 2015. – 57 с.
- 20.Online-калькулятор пари гвинт-гайка [Электронный ресурс] // <https://www.bornemann-gewindetechnik.de/ru/программа-определения-параметров/#>
- 21.Основы научных исследований в черной металлургии: Под общ. Ред. Ю.Н. Яковлева: М.: Высш. шк., 1985. -205с.
- 22.Основы научных исследований. Сиденко В.М., Грушко И.М. Харьков: Вища школа., 1977. -220с.
- 23.Основы научных исследований: Теплоэнергетика /Дикий Н.А., Халатов А.А. Под ред. Доброва Г.М. – К.: Вища школа, 1985. -223с.
- 24.Пат. № ВУ6234 Республіка Беларусь, МПК (2009) GOIN 3/56. Установка для испытаний полимерных материалов на абразивный износ [Электронный ресурс]/ К.С.Цикунов, В.В. Пятов, А.К. Новиков, И.А. Петюль, В.Ю. Новиков (ВУ), (u20090885) заявл. 20098.10.28. (прототип)

- 25.Магазин реактивів та устаткування [Электронный ресурс] // <https://pcgroup.ru/blog/kompozitnye-materialy-ponyatie-klassifikatsiya-matritsa/>
- 26.[Электронный ресурс] // <https://core.ac.uk/download/pdf/268227913.pdf>
- 27.Семин М.И., Стреляев Д.В. Расчеты соединений элементов конструкций из КМ на прочность и долговечность. - М.: ЛАТМЭС, 1996.

ДОДАТОК А

Витяг з протоколу засідання НТР УГТ АТ «Мотор Січ» про доцільність
патентування корисної моделі

ВЫПИСКА ИЗ ПРОТОКОЛА № 3

Заседания научно-технического совета секции УГТ АО «МОТОР СИЧ»

г. Запорожье

от 19.10.2020 г.

На заседании присутствовало 8 человек.

ПОВЕСТКА ДНЯ:

О целесообразности патентования в Украине полезной модели «Установка для испытаний на износ полимерных материалов» авторов Ивченко Л.И. (НУ «Запорожская политехника, профессор), Кириченко А.В. (инженер-технолог ц. 40), Танченко С.В. (НУ «Запорожская политехника, ст. преподаватель), Черного В.И. (НУ «Запорожская политехника, зав. лабораторией).

СЛУШАЛИ:

Сообщение автора полезной модели Кириченко А.В. о конструкции и преимуществах заявленного технического решения. Предлагаемое решение позволяет производить ремонт станочного парка силами предприятия и прогнозировать следующий аналогичный ремонт.

Положительный эффект достигается за счет исследования трения и износа полимерных материалов при условии абразивного изнашивания при динамической контактной нагрузке.

Именно установка устройства для осциллирующего перемещения исследуемого образца позволяет расширить технологические возможности установки, т.е. учесть при исследованиях динамику нагрузки.

Знание свойств полимера, необходимого для ремонта станочного оборудования, позволит увеличить межремонтный ресурс самого оборудования.

ПОСТАНОВИЛИ:

Научно-технический совет рекомендует направить в патентное ведомство Украины (Укрпатент) заявку на выдачу патента на полезную модель «Установка для испытаний на износ полимерных материалов» на имя АО «МОТОР СИЧ»

Заместитель председателя НТС
АО «МОТОР СИЧ»



П.Д. Жеманюк

Председатель секции НТС УГТ
Главный технолог



В.Ф. Мозговой

Начальник цеха 40



Б.В. Зорий

Автор-докладчик



А.В. Кириченко

Патентовед УГТ



М.М. Куковякин

ДОДАТОК Б

Матеріали заявки на винахід (корисну модель)

Форма В4

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ
 ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО
 "УКРАЇНСЬКИЙ ІНСТИТУТ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ"
 (УКРПАТЕНТ)

вул. Глазунова, буд. 1, м. Київ, 01601, тел.: (044) 494-05-05, факс: (044) 494-05-06
 E-mail: office@ukrpatent.org, сайт: www.ukrpatent.org, код згідно з ЄДРПОУ 31032378

29.10.2020 № 18455/ЗУ/20

Стосується заявки № 2020 06842
 / при листуванні просимо посилатися на цей № /

Адреса для листування
 АТ "МОТОР СІЧ", УГК-ОПРОМС, вул.
 Моторобудівників, буд. 15, м. Запоріжжя

Повідомлення
про встановлення дати подання заявки на винахід (корисну модель)

(21) Ресстраційний номер заявки **2020 06842**

(71) Заявник(и)
ПУБЛІЧНЕ АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО "МОТОР СІЧ"

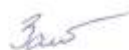
(54) Назва винаходу /корисної моделі/
**УСТАНОВКА ДЛЯ ВИПРОБУВАНЬ НА ЗНОШУВАННЯ ПОЛІМЕРНИХ
 МАТЕРІАЛІВ**

Матеріали заявки відповідають вимогам ст. 13 Закону щодо встановлення дати подання заявки на дату одержання Державним підприємством "Український інститут інтелектуальної власності":

- матеріалів заявки
- Дата подання заявки 26.10.2020**

Заступник начальника відділу

Телефон 494-05-98



Н.М. Заїка



Порядковий номер заявки, визначений заявником		Дата одержання		
22	Дата подання заявки	Пріоритет	51 МПК	ЕВ
				21 Номер заявки
86	Регістраційний номер та дата подання міжнародної заявки, установлені відомством-одержувачем			
87	Номер та дата міжнародної публікації міжнародної заявки			
ЗАЯВА про видачу патенту України		МІНІСТЕРСТВО РОЗВИТКУ ЕКОНОМІКИ, ТОРГІВЛІ ТА СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА УКРАЇНИ Державне підприємство "Український інститут інтелектуальної власності" вул. Глазунова, 1, м. Київ-42, 01601		
Подаючи вказані нижче документи, прошу (просимо) видати: ☐ патент України на винахід ☒ патент України на корисну модель				
71 Заявник (и)				Код ЄДРПОУ (для українських заявників)
ПУБЛІЧНЕ АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО "МОТОР СІЧ" (АТ "МОТОР СІЧ") проспект Моторобудівників, 15, м. Запоріжжя, 69068 (UA)				14307794
(вказується повне ім'я або найменування заявника (ів), його (їх) місце проживання або місцезнаходження та код держави згідно із стандартом ISO 31-66. Дані про місце проживання винахідників-заявників наводяться під кодом (72))				
Прощу (просимо) встановити пріоритет ☐ заявки ☐ пунктів формули винаходу за заявою № _____ за датою: ☐ подання попередньої заявки в державі - учасниці Паризької конвенції (навести дані під кодами 31, 32, 33) ☐ подання до Установи попередньої заявки, з якої виділено цю заявку (навести дані під кодом 62) ☐ подання до Установи попередньої заявки (навести під кодом 66)				
31	Номер попередньої заявки	32	Дата подання попередньої заявки	33
		Код держави подання попередньої заявки згідно із стандартом ISO 31-66		62
				Номер та дата подання до Установи попередньої заявки, з якої виділено цю заявку
				66
				Номер та дата подання до Установи попередньої заявки
54 Назва винаходу (корисної моделі)				
УСТАНОВКА ДЛЯ ВИПРОБУВАНЬ НА ЗНОШУВАННЯ ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ				
98 Адреса для листування				
АТ "МОТОР СІЧ", УГК-ОПромС пр-т Моторобудівників, 15, м. Запоріжжя, 69068 (UA)				
Телефон (61) 720-43-55		Телеграф _____		Факс (61) 720-43-55
74 Повне ім'я та реєстраційний номер представника у справах інтелектуальної власності або повне ім'я іншої довіреної особи				

☐ Пропшу (просимо) прискорити публікацію заявки

Перелік документів, що додаються		Кількість арк.	Кількість прим.	Підстави щодо виник- нення права на подання заявки і одержання патенту (без подання документів), якщо винахідник (и) не є заявником (ами): ☒ є документ про передачу прав винахідником (ами), або роботодавцем (ами) правонаступнику (ам) ☐ є документ про право спадкування
☒ опис винаходу		4	3	
☒ формули винаходу		1	3	
☒ креслення та інші ілюстративні матеріали		1	3	
☒ реферат		1	3	
☒ документ про сплату збору за подання заявки			1	
☐ документ, який підтверджує наявність підстав для зменшення збору або звільнення від сплати збору			1	
☐ документ про депонування зразку			1	
☐ копія попередньої заявки, яка підтверджує право на пріоритет			1	
☐ переклад заявки українською мовою			3	
☐ документ, який підтверджує повноваження довіреної особи (довіреність)				
☐ інші документи:				
☐ міжнародний звіт про пошук				

72 Винахідник (и) Винахідники (и) – заявник (и) (повне ім'я)	Місце проживання та код держави згідно із стандартом BOIS ST. 3 (для іноземців – тільки код держави)	Підпис (и) винахідника (ів) – заявника (ів)
Івченко Леонід Йосипович	вул. Маяковського, буд. 7, кв. 66, м. Запоріжжя, 69035 (UA)	
Кіріченко Олександр Вікторович	вул. Ситова, буд. 7, кв. 79, м. Запоріжжя, 69059 (UA)	
Танченко Сергій Віталійович	вул. Фортечна, буд. 3, кв. 7, м. Запоріжжя, 69002 (UA)	
Чорний Валентин Іванович	вул. Ракетна, буд. 38а, кв. 9, м. Запоріжжя, 69083 (UA)	

Я (ми) _____

прошу (просимо) не згадувати мене (нас) як винахідника (ів) при публікації відомостей стосовно заявки на видання патенту.

Підпис (и) винахідника (ів) _____

Підпис (и) заявника (ів) _____

Голова ради директорів *Сергій Івченко*

Дата підпису
М.П.

Якщо заявником є юридична особа, то підпис особи, що має на це повноваження, із зазначенням посади скріплюється печаткою. Якщо винахідники виступають заявниками, їх підписи виводяться під кодом (72).

Примітка: потрібно позначити значком ☒

І.о. вед. констр. по вопросам ИС / Крамная О.Н. /:

Трпс

22.10.20.

Нач. гр. / Плотникова С.Н. /:

С.Н. Плотникова
22.10.2020.

Реферат

УСТАНОВКА ДЛЯ ВИПРОБУВАНЬ НА ЗНОШУВАННЯ
ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ

Установка для випробувань полімерних матеріалів на зношування складається з корпусу, циліндра, який призначено для кріплення на ньому шліфувальної шкурки, привода обертання циліндра, патрона для тримача зразка, навантажувального пристрою, виконаного у вигляді штока, розташованого на напрямній, з можливістю осцилюючого переміщення, яке здійснюється електромагнітним соленоїдом.

Голова ради директорів



А. Вайтенко

И.о. вед. констр. по вопросам ИС / Крамная О.Н. /:

 22.10.2020

УСТАНОВКА ДЛЯ ВИПРОБУВАНЬ НА ЗНОШУВАННЯ ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ

Корисна модель відноситься до трибоніки та може бути використана для дослідження тертя та зношування полімерних матеріалів за умов абразивного зносу при динамічному контактному навантаженні.

Відомі пристрої для випробувань полімерних матеріалів на зношування є машини, які забезпечують абразивний знос зразка по свіжому сліду шліфувальної шкурки. Відома конструкція випробувальної машини для дослідження зношування на абразивний знос [1], яка складається з корпусу, циліндра, що обертається, і який призначено для кріплення на ньому шліфувальної шкурки, привода обертання циліндра, патрона для кріплення у ньому зразка, навантажувального пристрою та механізму, що забезпечує рівномірне переміщення патрона уздовж твірної циліндра.

Недоліком відомої конструкції є те, що випробувальна машина має жорсткий кінематичний зв'язок між частотою обертання циліндра та переміщенням зразка уздовж його твірної. Окрім цього, при випробуванні високо еластичних матеріалів відбувається розігрівання полімерних матеріалів від теплоти, яка виділяється при терті. Відсутність можливості регулювання частоти обертання циліндра також обмежує технологічні можливості випробувальної машини.

Найближчим аналогом вибрана відома конструкція установки для випробувань полімерних матеріалів на абразивне зношування [2] яка складається з корпусу, циліндра, який призначений для закріплення на ньому шліфувальної шкурки, привода обертання циліндра, патрона для тримання зразка, навантажувального пристрою, блоку керування електродвигуном постійного струму, який кінематично пов'язаний з циліндром.

Недоліком відомої конструкції є відсутність переміщення зразка у напрямку що перпендикулярний до двох наявних (повздовжньому та обертальному).

Задача корисної моделі полягає у розширенні технологічних можливостей установки для випробування полімерних матеріалів на абразивне зношування.

Поставлена задача вирішується вдосконаленням установки для випробування полімерних матеріалів на абразивне зношування, яка складається з корпусу, циліндра для закріплення на ньому шліфувальної шкірки, привода обертання циліндра, патрона для тримання зразка, навантажувального пристрою, піднімального пристрою, блоку керування електродвигуном постійного струму, кінематично пов'язаного з циліндром, та механізму, що забезпечує рівномірне переміщення патрона уздовж твірної циліндру та складається з ходового гвинта з встановленою веденою зірочкою, з'єднаною привідним ланцюгом з тяговою зірочкою, закріпленою на циліндрі. Відповідно до корисної моделі, установка оснащена пристроєм, що забезпечує осцилююче переміщення зразка у напрямку перпендикулярному повздовжньому та обертальному руху, який складається зі штоку навантажувального пристрою, напрямної, соленоїда, який збільшує переміщення штоку із заданою частотою, та вантажу.

Саме встановлення пристрою для осцилюючого переміщення зразка дозволяє розширити технологічні можливості установки, тобто враховувати при випробуваннях динаміку навантаження.

Аналоги, які містять ознаки, що відрізняються від найближчого аналога, не знайдені, що явним чином не впливає з рівня техніки.

Конструкція запропонованої корисної моделі пояснюється кресленням, на якому зображена принципова схема установки для випробування полімерних матеріалів на абразивне зношування.

Установка для випробувань полімерних матеріалів на абразивне зношування містить: корпус 1, на якому розміщується циліндр 2, з'єднаний з

приводом 3. На циліндрі 2 встановлено тягову зірочку 12. Паралельно циліндру змонтований ходовий гвинт 7, на якому закріплено ведену зірочку 10 ланцюгової передачі 11. У зачепленні з гвинтом знаходиться гайка 13, з'єднана з навантажувальним пристроєм, який складається з прямої 9, штока 5, патрона для тримання 4, призначеного для закріплення в ньому випробувального зразка. Навантаження на випробувальний зразок забезпечується змінними вантажами 8. На штоці навантажувального пристрою розміщується електромагнітний соленоїд 6, призначення якого є створення осцилюючого переміщення штока з випробувальним зразком.

Працює установка для визначення абразивного зносу полімерних матеріалів наступним чином.

Після закріплення шліфувальної шкірки на циліндрі 2 встановлюють зразок в патрон, навантажують зразок змінними вантажами, включають привід 3 обертового руху циліндра 2. Після включення приводу циліндр обертається та через ланцюгову передачу 11 обертання передається ходовому гвинту 7. В результаті руху зразка уздовж гвинтової лінії відбувається його стирання об шліфувальну шкірку, яка закріплена на поверхні циліндру. При включенні електромагнітного соленоїда 6 відбувається осцилююче переміщення штока 5 з патроном і зразком у напрямі, перпендикулярному руху уздовж гвинтової лінії.

Після проходження зразком необхідного за умовами проведення випробувань відрізка шляху, а також виконання зазначеної кількості подвійних переміщень штока обертання циліндру та осцилюючого переміщення зупиняють.

Використання установки дозволяє проводити випробування на абразивний знос полімерних матеріалів не тільки за умов стирання, а й при накладанні вібрацій, що значно розширює її технологічні можливості.

Джерела інформації

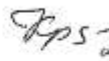
1. ГОСТ 11012. Пластмассы. Метод испытаний на абразивный износ. Введ. 1969.07.01. – М.: Изд-во стандартов, 1970. –с.10
2. Пат. № BY6234 Республика Беларусь, МПК (2009) GOIN 3/56. Установка для испытаний полимерных материалов на абразивный износ [Электронный ресурс]/ К.С.Цикунов, В.В. Пятов, А.К. Новиков, И.А. Петюль, В.Ю. Новиков (BY)

Голова ради директорів

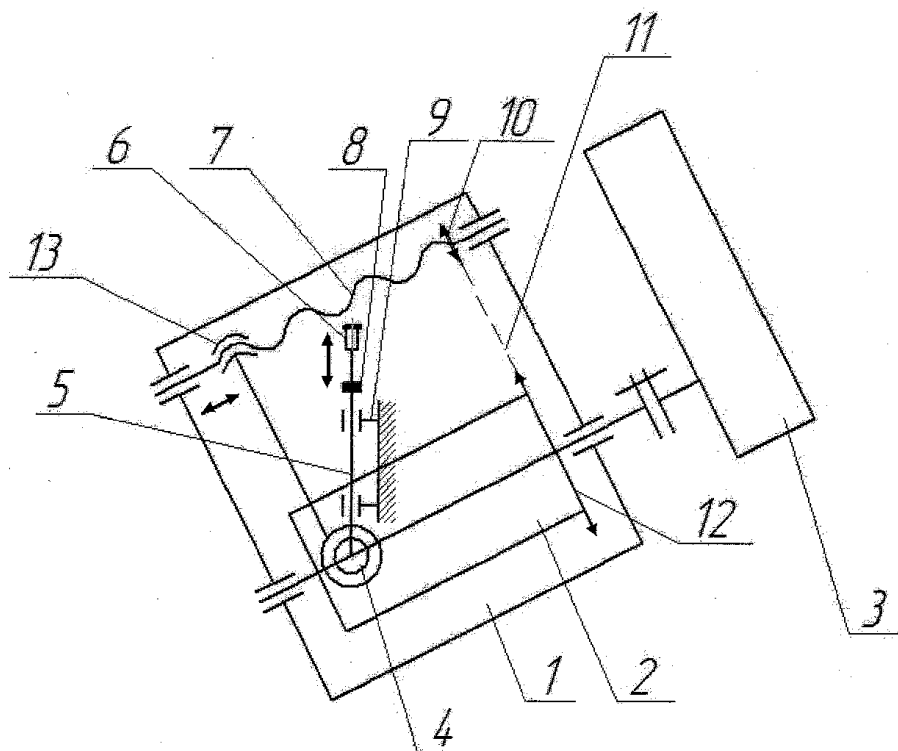


А. Вейтенко

И.о. вед. констр. по вопросам ИС / Крампая О.Н. /:

 22.10.2020 (А. Прохоров)

УСТАНОВКА ДЛЯ ВИПРОБУВАНЬ НА ЗНОШУВАННЯ ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ



Голова ради директорів

Сергей



Войтенко

Ц.о. вед. констр. по ЦС /Крамная О.Н.) *Крс* 22.10.2020

С.Г. (Анонімов)

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Установка для випробування полімерних матеріалів на абразивне зношування, яка складається з корпусу, циліндра для закріплення на ньому шліфувальної шкурки, привода обертання циліндра, патрона для тримання зразка, навантажувального пристрою, піднімального пристрою, блоку керування електродвигуном постійного струму, кінематично пов'язаного з циліндром, та механізму, який забезпечує рівномірне переміщення патрона уздовж твірної циліндру, що складається з ходового гвинта з встановленою веденою зірочкою, з'єднаною приводним ланцюгом з тяговою зірочкою, закріпленою на циліндрі, яка відрізняється тим, що вона оснащена пристроєм, який забезпечує осцилююче переміщення зразка у напрямку перпендикулярному повздовжньому та обертальному руху, що складається зі штоку навантажувального пристрою, напрямної, соленоїда, який збільшує переміщення штоку із заданою частотою, та вантажу.

Голова ради директорів

Сейменко



Войтенко

И.о. вед. конструктора по вопросам ИС / Крамная О.Н. /:

Кр9- 22.10.2020

Сейменко

ДОДАТОК В

Розрахунок параметрів різі

Расчет параметров резьбы

BORNEMANN
Gewindetechnik

Спасибо за то, что воспользовались программой расчета параметров резьбы. Мы будем рады составить необязывающее коммерческое предложение по изготовлению данной специальной резьбы. Для этого договоритесь с нами о встрече или свяжитесь по телефону, электронной почте или факсу.



TELEPHONE
+49 (0)5187-9422-0



E-MAIL
info@bornemann.de



FAX
+49 (0)5187-
9422-70

Входные параметры винтовой пары

Тип нагрузки	Постоянная растягивающая нагрузка
Максимальная осевая нагрузка	0.1 kN
Общая длина ходового винта	500 mm
Вид установки ходового винта на опоры	Неподвижный подшипник / Неподвижный подшипник
Расстояние между опорами	490 mm
Длина резьбы ходового винта	480 mm
Материал ходового винта	Сталь C45 (1.0503)
Материал резьбовой гайки	Бронза CuSn12 (2.1052)
Смазка	Да
Коэффициент запаса прочности	1.25
Тип резьбы	Метрическая трапецеидальная резьба
Рассчитанная резьба соответствует следующим стандартам	ISO 2901:2016, ISO 2903:2016 DIN 103-1:1977, DIN 103-3:1977

Резюме

Расчет параметров резьбы

БАЗОВЫЙ ПРОФИЛЬ

Угол профиля резьбы	30°
Угол боковой стороны профиля резьбы	15°
Радиальный зазор	0.250 mm

ХОДОВОЙ ВИНТ

Обозначение резьбы	Tr 12 x 3
Общая длина	500 mm
Длина резьбы	480 mm
Материал	Сталь C45 (1.0503)
Наружный диаметр	12.000 mm
Средний диаметр резьбы	10.500 mm
Внутренний диаметр резьбы	8.500 mm

РЕЗЬБОВАЯ ГАЙКА

Обозначение резьбы	Tr 12 x 3
Длина резьбы	18 mm
Необходимая общая форма резьбовой гайки	Круглая
Материал	Бронза CuSn12 (2.1052)
Средний диаметр резьбы	10.500 mm
Внутренний диаметр резьбы	9.200 mm

Размеры резьбы

Номинальный размер	12 mm
Количество шагов	3 mm
Число витков	1

Расчет параметров резьбы

Шаг	3 mm
С левой резьбой	Нет
Угол подъема	5° 11' 47"
Резьба, самоблокирующаяся в движении	Нет
Резьба, самостопорящаяся в начале движения	Да

Параметры резьбовой гайки

Наименьшая длина резьбы гайки	6.00 mm
Выбранная длина резьбы гайки	18 mm
Необходимая общая форма резьбовой гайки	Круглая

Контроль напряжения на единицу поверхности

Допустимое напряжение на единицу поверхности	20.00 N/mm ²
Имеющееся напряжение на единицу поверхности	0.34 N/mm ²
Коэффициент запаса прочности при напряжении на единицу поверхности	59.38

Выбор рабочей частоты вращения

Максимальная скорость скольжения	1 187.52 m/min
Максимальная скорость вращения	36 000.00 min ⁻¹
Максимальная величина подачи	108.00 m/min
Выбранная рабочая частота вращения	36 000 min ⁻¹
Величина подачи	108.00 m.min ⁻¹

Расчет параметров резьбы

Расчетная проверка прочности ходового винта

ИСПЫТАНИЕ НА ПРОЧНОСТЬ

Допустимое напряжение сжатия и растяжения	333.33 N/mm ²
Допустимое напряжение кручения	233.33 N/mm ²
Имеющееся напряжение сжатия и растяжения	1.76 N/mm ²
Имеющееся напряжение кручения	0.85 N/mm ²
Имеющееся эталонное напряжение	2.30 N/mm ²
Коэффициент запаса прочности при эталонном напряжении	144.83

КПД, крутящий момент, мощность привода

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ В ПРОДОЛЬНОЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЕ

КПД	0.51
Требуемый крутящий момент привода	0.10 N.m
Требуемая мощность привода	0.39 kW

КРУТЯЩИЙ МОМЕНТ, ВЫЗВАННЫЙ ОСЕВОЙ НАГРУЗКОЙ

КПД	0.43
Удерживающий момент	0.02 N.m

Классы допуска

ХОДОВОЙ ВИНТ

Расчет параметров резьбы

Класс допуска для среднего диаметра резьбы	7e
Класс допуска для наружного диаметра	4h
Класс допуска для внутреннего диаметра	7h

РЕЗЬБОВАЯ ГАЙКА

Класс допуска для среднего диаметра резьбы	7H
Класс допуска для внутреннего диаметра	4H

Базовый профиль и диаметр

БАЗОВЫЙ ПРОФИЛЬ

Шаг	3.000 mm
Угол профиля резьбы	30°
Угол боковой стороны профиля резьбы	15°
Радиальный зазор	0.250 mm

ХОДОВОЙ ВИНТ

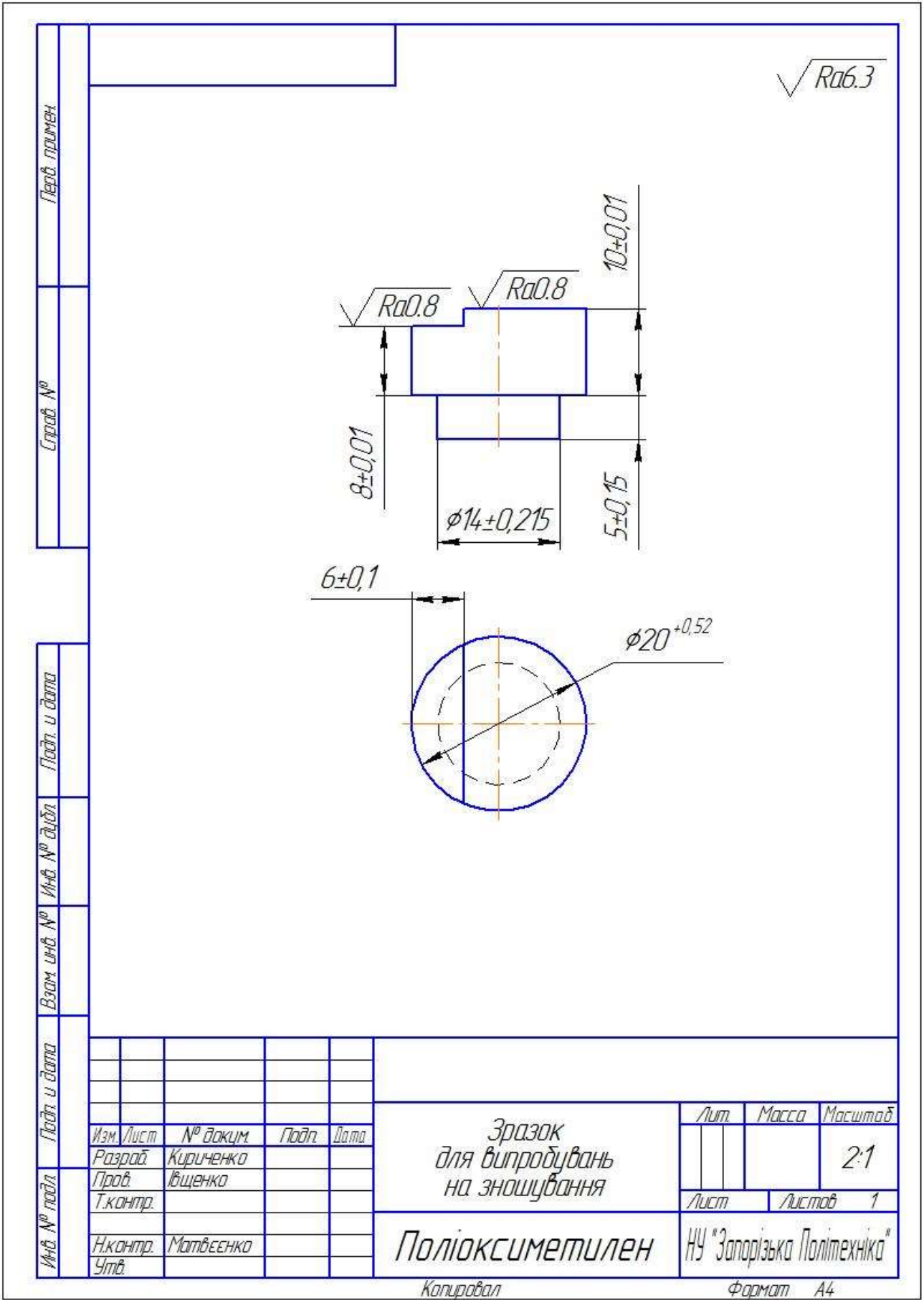
Обозначение резьбы	Tr 12 x 3
Наружный диаметр	12.000 mm
Средний диаметр резьбы	10.500 mm
Внутренний диаметр резьбы	8.500 mm

РЕЗЬБОВАЯ ГАЙКА

Обозначение резьбы	Tr 12 x 3
Наружный диаметр	12.500 mm
Средний диаметр резьбы	10.500 mm
Внутренний диаметр резьбы	9.200 mm

ДОДАТОК Г

Зразок



Копіював

Формат A4

ДОДАТОК Д

Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

4.1 Аналіз потенційних небезпек

При виконанні зазначених видів обробки можливі наступні фізичні небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

- ураження електричним струмом у зв'язку з невиконанням правил електробезпеки або відсутності захисного заземлення;
- наявність гострих кромek, шорсткості поверхні на заготовках, інструментах чи обладнанні при роботі без рукавиць (без спеціального одягу) може призвести до пошкодження шкіряного покриву;
- наявність частинок абразивного пилю, що відлітає, під час роботи без захисних окулярів може призвести до травматизму очей;
- ковзання та падіння працівника при неправильно підбраному взутті, неувважності, втомі;
- утворення дрібнодисперсного пилю під час обробки деталі без використання засобів захисту (респіратору), при відсутності місцевої та загальної вентиляції, внаслідок ураження органів дихання може призвести до збільшення загальних захворювань, а в подальшому і до професійного захворювання (пневмоконіозу)

Потенційні небезпеки біологічного характеру включають подразнення слизових оболонок верхніх дихальних шляхів. Можуть викликати мастильно-охолоджувальні технічні засоби при порушенні правил безпеки, при цьому аерозоль нафтових олиив, що входять до їх складу, сприяє зниженню імунітету та може призвести до алергічних реакцій.

Прикладом психо-фізіологічних небезпек є: фізичне перевантаження при установці, закріпленні та зйомці крупно габаритних деталей або пристосувань може призвести до кістково-м'язових порушень та надмірного навантаження на серцево-судинну систему.

До санітарно-гігієнічних умов відносять наступне:

- незадовільний стан повітряного середовища через відсутність ефективної місцевої та загальної вентиляції може викликати захворювання дихальних шляхів,
- незадовільний рівень освітленості внаслідок відсутності ефективного загального та місцевого освітлення призводить до поступового погіршення зору;
- не виконання вимог до режиму праці й відпочинку призводить до зниження працездатності.

Потенційні небезпеки, що пов'язані з порушеннями правил пожежної безпеки, включають наступне:

- імовірні виникнення загоряння у зв'язку з несправністю електрообладнання, короткого замикання, що може призвести до виникнення пожеж, порушення правил пожежної безпеки, а також відсутність або неправильний вибір типу та необхідної кількості первинних засобів гасіння пожеж (вогнегасників), не герметичність систем живлення, може стати причиною поширення пожежі.
- До потенційних небезпек, що пов'язані з проявом наслідків надзвичайних ситуацій, відносять:
- неправильні дії персоналу в умовах надзвичайної ситуації, при ліквідації наслідків такої ситуації може призвести до травмування та загибелі людей.

4.2 Розрахунок адміністративно-побутового приміщення

Розрахуємо площу адміністративно-побутового приміщення при умовній кількості працюючих: Загальна кількість працівників по списку $N = 75$;

з них:

робітників $N_p = 40$;

інженерно-технічних працівників (ІТР) $N_{ін} = 15$;

службовців $N_{сл} = 20$.

Кількість робочих місць, обладнаних комп'ютерами — 22

Співвідношення чоловіків і жінок — 0,4:0,6 (тобто 40 та 60%)

Коефіцієнт складу найчисленнішої зміни — 0,8

Групи виробничих процесів — 1а, 3а

Визначаємо очікувану кількість чоловіків і жінок в механічному цеху:

$$Ч = 0,4 \cdot N = 0,4 \cdot 75 = 30 \text{ осіб,}$$

$$Ж = 0,6 \cdot N = 0,6 \cdot 75 = 45 \text{ осіб.}$$

Серед працівників робітничих професій:

$$Ч_p = 0,4 \cdot N_p = 0,4 \cdot 40 = 16 \text{ осіб,}$$

$$Ж_p = 0,6 \cdot N_p = 0,6 \cdot 40 = 24 \text{ особи.}$$

Очікувана кількість жінок та чоловіків у найчисленнішій зміні:

$$Ч_z = 0,8 \cdot N_ч = 0,8 \cdot 30 = 24 \text{ особи,}$$

$$Ж_z = 0,8 \cdot N_ж = 0,8 \cdot 45 = 36 \text{ осіб,}$$

$$\sum z = 24 + 36 = 60 \text{ осіб.}$$

Серед працівників робітничих професій:

$$Ч_{p,z} = 0,8 \cdot N_{pч} = 0,8 \cdot 16 = 12 \text{ осіб,}$$

$$Ж_{p,z} = 0,8 \cdot N_{pж} = 0,8 \cdot 24 = 19 \text{ осіб,}$$

$$\sum z_p = N_{3pч} + N_{3pж} = 12 + 19 = 31 \text{ особа.}$$

Визначаємо необхідні площі адміністративних та побутових приміщень.

Площі гардеробних повинні становити:

$$\text{для жінок } Ж_г = 0,9 \cdot N_ж = 0,9 \cdot 45 = 40,5 \text{ м}^2$$

$$\text{для чоловіків } Ч_г = 0,9 \cdot N_ч = 0,9 \cdot 30 = 27 \text{ м}^2$$

В обох гардеробних планується розмістити відповідно 45 та 30 шаф (1 шафа на 1 працівника).

Загальна площа гардеробних становитиме:

$$\sum Ж_г + Ч_г = 40,5 + 27 = 67,5 \text{ м}^2$$

В даному випадку проектується будівля з поєднанням виробничих процесів групи 1а (тобто, під час роботи забруднюються тільки кінцівки та За-забруднюються руки шкідливими речовинами).

Враховуючи, що розрахункова кількість працівників робітничих професій на одну душову сітку становить 25 осіб, визначаємо необхідну кількість сіток у жіночій та чоловічій душових:

$$дж = N_{3рж} / 25 = 24 / 25 = 0,96;$$

$$дч = N_{3рч} / 25 = 16 / 25 = 0,64.$$

У кожній душовій необхідно встановити по 1 душовій сітці, а площа душової враховує, що рекомендована площа однієї душової-2м, повинна становити:

$$\text{Площа (дж)} = 3 \cdot 2 = 6 \text{ м}^2$$

$$\text{Площа дч} = 2 \cdot 2 = 4 \text{ м}^2.$$

Загальна площа душових:

$$S_d = S_{дж} + S_{дч} = 4 + 6 = 10 \text{ м}^2.$$

Розраховуючи кількість умивальників та групу виробничих процесів (3а – 7 кранів) у жіночій умивальні необхідно встановити 3 штуки, а в чоловічій — 2 крани:

$$жум = N_{3рж} / 7 = 19 / 7 = 2,71;$$

$$чум = N_{3рч} / 7 = 12 / 7 = 1,71.$$

Площі цих санітарно-побутових приміщень повинні становити відповідно 3 м² та 2 м²

Необхідна кількість унітазів (підлогових чаш) в жіночому та чоловічому туалетах буде:

$$п_{уж} = Жз / 15 = 36 / 15 = 2,4;$$

$$п_{уч} = Чз / 15 = 24 / 15 = 1,6.$$

Приймаємо 3 унітази в жіночому та 2 в чоловічому туалетах, площі яких тоді становитимуть (табл. 3.2):

$$S_{тж} = 3 \cdot 2,5 = 7,5 \text{ м}^2;$$

$$S_{тч} = 2 \cdot 2,5 = 5 \text{ м}^2.$$

Загальна площа туалетів $\Sigma = 12,5 \text{ м}^2$.

Таким чином, сумарна площа всіх санітарно-побутових приміщень друкарні, що проектується буде становити $S_{сп} = 103 \text{ м}^2$ (для жінок — 61 м², для чоловіків — 42 м²).

Приймаємо медичний пункт загальною площею $\Sigma S_{мед} = 12 \text{ м}^2$

Оскільки очікувана кількість працівників найчисельнішої зміни менша 100 осіб, то для їх харчування передбачаємо буфет з кількістю посадкових місць:

$$n_{\text{відв}} = \sum z_{\text{мни}} / 4 = 60 / 4 = 15;$$

при цьому кількість чотиримісних столиків дорівнює $15 / 4 = 3,75 \approx 4$.

Приймаємо загальну кількість 15.

Площа буфету становитиме:

$$S_{\text{харч}} = k_{\text{відв}} \cdot 1 = 15 \text{ м}^2.$$

Площа приміщення для наукових та практичних конференцій повинна становити

$$S_{\text{зборів}} = 24 \text{ м}^2.$$

Враховуючи, що при розробці технологічних процесів 15 працівників мають комп'ютеризовані робочі місця, а площа на одне робоче місце повинна бути не менше 6 м², а інші 20 — некомп'ютеризовані, площа приміщень управлінь становитиме:

$$S_{\text{упр}} = 20 \cdot 4 + 15 \cdot 6 = 170 \text{ м}^2.$$

При визначенні площі профкому враховується кількість працюючих на виробництві, доцільно прийняти її 12 м² та куток охорони праці 24 м. Сумарна площа адміністративних приміщень становить:

$$S_a = S_{\text{упр}} + S_{\text{проф}} + S_{\text{оп}} = 170 + 12 + 24 = 206 \text{ м}^2.$$

Загальна площа адміністративних та побутових приміщень:

$$S_{\text{заг}} = S_{\text{сп}} + S_{\text{оз}} + S_{\text{харч}} + S_{\text{зборів}} + S_a = 103 + 30 + 15 + 24 + 206 = 378$$

На базі проведених розрахунків, визначено, що для комфортної роботи слід передбачити щонайменшою 378 м².

На одного працівника підприємства припадає $378 \text{ м}^2 / 75 \text{ осіб} = 5,04 \text{ м}^2$ площі адміністративних та побутових приміщень.

4.3 Заходи по забезпеченню безпеки

Для запобігання фізичних, хімічних, біологічних потенційних небезпек та небезпек психофізіологічного характеру при виконанні технологічного процесу та різноманітних досліджень необхідно дотримуватись вимог, що зазначено в: НПАОП 0.00-7.11-12 «Загальні вимоги стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників», ПУЕ-2017 «Правила улаштування електроустановою», НПАОП 0.00-1.71-13 «Правила охорони праці під час роботи з інструментом та пристроями».

З організаційної точки зору згідно зі статтею 13 Закону України «Про охорону праці» роботодавець з метою постійного контролю й нагляду за станом охорони праці створює систему управління охороною праці на підприємстві (СУОПП), яка здійснює професійний відбір персоналу, навчання працівників безпечним методам праці, технічну підготовку виробництва з урахуванням вимог охорони праці, розробляє нормативно правові акти підприємства з охорони праці (інструкції, положення тощо), нормалізує санітарно-гігієнічні умови праці, забезпечує працівників засобами індивідуального та колективного захисту та здійснює контроль, облік і аналіз роботи підприємства в галузі охорони праці.

Також згідно з НПАОП 0.00-4.12-05 «Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці» передбачено проходження працівниками на підприємстві інструктажів і, крім того, один раз на три роки навчання з охорони праці, атестація та перевірка знань. З метою навчити працівників правильно й безпечно для себе і навколишнього середовища виконувати свої трудові обов'язки проводяться інструктажі: спеціалістами служби з охорони праці - вступний інструктаж в разі прийняття працівників на роботу; безпосередньо керівником робіт до початку роботи на робочому місці проводиться первинний інструктаж з урахуванням усіх специфічних особливостей, властивих для виконання даного виду робіт, а також зо всіма працівниками 1 раз на півроку (або 1 раз в квартал при роботі з підвищеною небезпекою) проводиться повторний інструктаж; при ліквідації аварій та

стихійних лих безпосередньо керівник робіт здійснює цільовий інструктаж, що фіксується в наряд-допуску.

Виходячи з ДСТУ ГОСТ 12.2.061: 2009, для уникнення падіння верстатника на кожному робочому місці біля верстата на підлозі передбачені дерев'яні трапи на всю довжину робочої зони та за шириною не менше 0,6 м від виступаючих частин верстата, при цьому відстань між планками трапу – не більше 30 мм.

Згідно з ДСТУ EN ISO 14120:2017 також передбачено використання стаціонарних та рухомих захисних засобів у справному стані у вигляді металевих чи пластмасових ґраток, сіток, кожухів, прозорих екранів з метою огороження та ізоляції рухомих частини й систем приводу верстатного обладнання та зони обробки, а також для захисту верстатника від змашувально-охолоджувальної рідини й стружки, що відлігає. З метою захисту працівника від травмування при розриві шліфувального круга останній закривають спеціальним запобіжним сталевим кожухом. Захисні огороження виконуються досить міцними (міцність захисних огорожень визначається характером аварії, яка прогнозується для конкретного верстатного обладнання), виключають ймовірність травмування, надійно фіксуються в потрібному положенні, не підвищують рівень шуму і вібрацій, не заважають під час роботи та налагоджування верстата. Також передбачено використання захисних огорожень масою до 6 кг, що знімаються частіше, ніж один раз за зміну та закріплюються без застосування ключів і викруток. Крім того, при зніманні рухомих огорожень величина прикладеного до них зусилля становить до 80Н. Огороження, що самовідкриваються, у разі усталеного руху переміщуються із зусиллям до 40Н. Враховано розміщення огороження з металевих сіток (решіток) не ближче, ніж за 50 мм від рухомих деталей. Згідно з ДСТУ EN 418-2003 змінні, відкидні або розсувні огороження робочих органів виробничого обладнання, а також двері, кришки, щитки, що відкриваються в огороженнях або корпусі обладнання, мають пристрої фіксації (замки, знімання за допомогою інструменту тощо), які не припускають довільного та випадкового їх знімання чи відкривання під час роботи, та електричні чи механічні блокувальні пристрої, які забезпечують зупинку

верстата під час знімання, відключення або відкривання огороження. Ззовні, внутрішні поверхні та посадкові місця захисних огорожень пофарбовані в жовтий колір, що сигналізує про небезпеку в разі їх відкривання, а відкриті струмопровідні елементи – в червоний. На зовнішньому боці огорожень наносять або прикріплюють певний попереджувальний знак (знак безпеки) – рівносторонній трикутник жовтого кольору вершиною вгору з чорною облямівкою і чорним знаком оклику всередині. Під знаком розташовують табличку з пояснювальним написом «У разі ввімкненого верстата не відкривати!».

Якщо не можливо застосувати захисні засоби, то згідно з ДСТУ EN 457-2001 в конструкції виробничого обладнання передбачено засоби сигналізації, що попереджають працюючих про пуск та зупинку верстата, зміни стану, порушення технологічного процесу й нормального режиму роботи, про місце виникнення небезпеки, а також запобіжні засоби – засоби автоматичної зупинки і відключення від джерела енергії при небезпечних несправностях, відхиленні від нормального режиму, при аваріях чи режимах роботи, близьких до небезпечних. Для попередження про небезпеку застосовують звукові, світлові й кольорові сигналізатори, знаки і плакати безпеки, які розміщуються так, щоб їх добре бачили і чули працівники.

Виходячи з Технічного регламенту безпеки машин, передбачено використання запобіжних пристроїв, які, залежно від природи потенційних небезпек та конструкції виробничого обладнання, протидіють механічним перевантаженням (обмежувачі вантажопідйомності, регулятори частоти обертання; фрикційні муфти, зрізні штифти та шпильки (система слабкої ланки)), переміщенню частин верстата за встановлені межі (обмежувачі ходу, кінцеві вимикачі, упори, спеціальні пристрої для зупинення рухомої частини обладнання), перевищенню тиску (розривні мембрани), температури, перевищенню сили електричного струму понад припустимі межі.

Згідно з НПАОП 0.00-1.71-13 з метою запобігання руйнування ріжучого інструменту передбачено використання раціональних режимів обробки, що

відповідають технологічному процесу та не перевищують допустимих значень. Також для уникнення травматизму перед установленням на верстат пристосувань та деталей, передбачено їх очищення від стружки та мастила (особливо базових та кріпильних поверхонь) – для забезпечення правильного установлення їх та досягнення міцності закріплення. Крім того, перед початком роботи здійснюється перевірка пристосування на цілісність та справність. Закріплюється деталь в місцях, що розташовані якомога ближче до оброблювальної поверхні. При цьому використовуються спеціальні пристосування: лещата, що кріпляться до стола верстата болтами, розмір яких відповідає розміру паза стола, кондуктори чи електричні, електромагнітні, пневматичні пристосування. Посадочні місця та базові поверхні верстата та інструменту, за якими здійснюються закріплення інструменту, ретельно очищаються та протираються, а забоїни – усуваються. При закріпленні інструменту передбачено досягнення співвісності інструменту зі шпинделем верстата, а також надійність закріплення за допомогою відповідних пристосувань: фрезерну оправку або фрезу закріплюють в шпинделі ключем (залишати ключ на головці затяжного болта після установки інструменту забороняється), шліфувальний круг затискується між фланцями кріпильною гайкою тощо. Також важливо включати механізоване й автоматичне закріплення деталей та інструментів на верстаті. Крім того, для здійснення шліфування не використовуються круги з тріщинами на поверхні, з відшаровуванням шару, що містить ельбор, а також круги, що не мають відмітки про проведення випробування, на механічну міцність або з простроченим терміном зберігання. Передбачено збалансування шліфувальних круги діаметром 125 мм і більше з робочою швидкістю більше ніж 50 м/с, а також шліфувальних кругів діаметром 250 мм і більше, складені разом із планшайбою, перед установленням на верстат з метою усунення вібрацій. Також, коли у повітрі робочої зони працівника утворюється пил з концентрацією, що перевищує гранично допустиму, в конструкції шліфувального верстата включено індивідуальний відсмоктувальний пристрій (місцеву витяжну вентиляцію) з тканинними фільтрами, тканина яких є

вогнестійкою (або на ділянці всмоктування перед пристроєм передбачений іскроуловлювач).

Згідно з НПАОП 0.00-7.11-12 та ДСТУ 7239:2011 з метою забезпечення захисту працівника від опіків, порізів та травматизму очей, а також органів дихання при здійсненні шліфування, під час виконання операцій різання передбачено використання спецодягу (добре підігнаного й застібнутого віскозно-лавсанового костюму з рукавами, застібнутими манжетами, які щільно облягають руки, у шліфувальника – комбінезону бавовняного з пилонепроникної тканини), спецвзуття (черевикив шкіряних з гладким верхом), засобів індивідуального захисту (захисних окулярів, рукавиць, навушників протишумових; респіратору пилозахисного). Працювати на верстатах у рукавицях забороняється. Також важливо, щоб волосся у жінок було закрито головним убором (косинкою, беретом, сіткою тощо) й підібрані під нього. Для запобігання ковзанню підошва спецвзуття виготовляється литою, рельєфною з гуми чи полімерних матеріалів (поліуретану). Крім того, передбачено виконання елементів конструкції виробничого обладнання, заготовок та інструменту без гострих кутів, країв і шорстких поверхонь. Згідно з НПАОП 0.00-1.71-13 під час виконання робіт на верстатах робоче місце утримується в чистоті та не захаращується. Забороняється прибирання стружки руками – з цією метою передбачено відповідні пристрої (гачки, щітки, совки), також в конструкції верстата включено пристосування для уловлювання та видалення стружки (спеціальні стружковідвідники).

Комплекс протипожежних заходів для приміщення обладнаного ПК з ВДТ розроблений відповідно до вимог НАПБ А.01.001-14 «Правила пожежної безпеки в Україні», НАПБ В.01.056-2013/111 «Правила будови електроустановок. Пожежна безпека електроустановок. Інструкція».

У приміщенні обладнаному ПК з ВДТ можливі пожежі класу «А» – пожежі твердих речовин, переважно органічного походження, горіння яких супроводжується тлінням (деревина, текстиль, папір), та класу «Е» (додатковий клас) – пожежі, пов'язані з горінням електроустановок.

Згідно із методикою визначення категорій приміщень та будівель за вибухопожежною та пожежною небезпекою, який регламентується НАПББ.03.002-2007 "Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою» приміщення відповідає категорії «Д»з пожежної небезпеки – незаймисті речовини і матеріали в холодному стані.

Відповідно до вимог ДБН В.1.1.7-2002 «Пожежна безпека об'єктів будівництва», будівлі і ті їх частини, в яких розташовуються ЕОМ, мають II ступінь вогнестійкості.

Згідно ДБН В.1.1.7-2002 «Пожежна безпека об'єктів будівництва», на випадок пожежі передбачені два шляхи евакуації працівників із приміщення обладнаного ПК з ВДТ та два евакуаційних виходи. Максимальне видалення від найбільш віддаленого робочого місця до найближчого евакуаційного виходу необмежене.

Обладнання, силові та освітленні мережі відповідають вимогам пожежної безпеки, оскільки виконані відповідно до вимог НПАОП 40.1-1.32-01 «Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок», та мають ступінь захисту оболонок (ізоляції), відповідно до пожежонебезпечної зони П-П - IP44.

Згідно вимог НАПБ А.01.003-2009 «Правила улаштування та експлуатації систем оповіщення про пожежу та управління евакуацією людей в будинках та спорудах» і ДБН В.2.5-56:2014 «Системи протипожежного захисту» приміщення з ЕОМ, оснащені системою автоматичної пожежної сигналізації з димовими пожежними сповіщувачами. В інших приміщеннях встановлені теплові пожежні сповіщувачі.

Згідно НАПБ Б.03.001-2004 «Типові норми належності вогнегасників» приміщення оснащене переносними вуглекислотними вогнегасниками ВВ-5 з розрахунку 2 шт. на кожні 20 м² площі приміщення з урахуванням гранично

допустимих концентрацій вогнегасної рідини. Підходи до засобів пожежогасіння вільні.

4.4 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях

Єдина державна система цивільного захисту - це сукупність органів управління, сил і засобів центральних та місцевих органів виконавчої влади, виконавчих органів рад, підприємств, установ та організацій, які забезпечують реалізацію державної політики у сфері цивільного захисту.

Вона включає в себе центральні та місцеві органи виконавчої влади, виконавчі органи рад, державні підприємства, установи та організації з відповідними силами і засобами, які здійснюють нагляд за забезпеченням техногенної та природної безпеки, організовують проведення роботи із запобігання надзвичайній ситуації (НС) техногенного та природного походження і реагування у разі їх виникнення з метою захисту населення і довкілля, зменшення матеріальних втрат.

Забезпечення реалізації державної політики у сфері цивільного захисту здійснюється єдиною державною системою цивільного захисту, яка складається з функціональних і територіальних підсистем та їх ланок.

Положення про єдину державну систему цивільного захисту, типові положення про функціональні і територіальні підсистеми затверджені Постановою Кабінетом Міністрів України від 9 січня 2014 р. № 11.

Основними завданнями єдиної державної системи цивільного захисту є:

- забезпечення готовності міністерств та інших центральних та місцевих органів виконавчої влади, органів місцевого самоврядування, підпорядкованих їм сил і засобів до дій, спрямованих на запобігання і реагування на надзвичайні ситуації;

- забезпечення реалізації заходів щодо запобігання виникненню надзвичайних ситуацій;

- навчання населення щодо поведінки та дій у разі виникнення надзвичайної ситуації;
- виконання державних цільових програм, спрямованих на запобігання надзвичайним ситуаціям, забезпечення сталого функціонування підприємств, установ та організацій, зменшення можливих матеріальних втрат;
- опрацювання інформації про надзвичайні ситуації, видання інформаційних матеріалів з питань захисту населення і територій від наслідків надзвичайних ситуацій;
- прогнозування і оцінка соціально-економічних наслідків надзвичайних ситуацій, визначення на основі прогнозу потреби в силах, засобах, матеріальних та фінансових ресурсах;
- створення, раціональне збереження і використання резерву матеріальних та фінансових ресурсів, необхідних для запобігання і реагування на надзвичайні ситуації;
- оповіщення населення про загрозу та виникнення надзвичайних ситуацій, своєчасне та достовірне інформування про фактичну обстановку і вжиті заходи;
- захист населення у разі виникнення надзвичайних ситуацій;
- проведення рятувальних та інших невідкладних робіт щодо ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій, організація життєзабезпечення постраждалого населення;
- пом'якшення можливих наслідків надзвичайних ситуацій у разі їх виникнення;
- здійснення заходів щодо соціального захисту постраждалого населення;
- реалізація визначених законом прав у сфері захисту населення від наслідків надзвичайних ситуацій, в тому числі осіб (чи їх сімей), що брали безпосередню участь у ліквідації цих ситуацій;
- інші завдання, визначені законом.

Залежно від масштабів і особливостей НС, що прогнозується або виникла, може існувати один з таких режимів функціонування:

- режим повсякденної діяльності - при нормальній виробничо-промисловій, радіаційній, хімічній, біологічній (бактеріологічній), сейсмічній, гідрогеологічній і гідрометеорологічній обстановці;

- режим підвищеної готовності - при істотному погіршенні виробничо-промислової, радіаційної, хімічної, біологічної, сейсмічної, гідрогеологічної і гідрометеорологічної обстановки (з одержанням прогнозової інформації щодо можливості виникнення надзвичайної ситуації);

- режим діяльності у надзвичайній ситуації - при реальній загрозі виникнення НС і реагування на них;

- режим діяльності у надзвичайному стані - запроваджується в Україні або на окремих її територіях у порядку, визначеному Конституцією України та Законом України «Про надзвичайний стан».

Положенням про єдину державну систему цивільного захисту визначається перелік заходів, що здійснюються у відповідному режимі, завдання та порядок взаємодії суб'єктів забезпечення цивільного захисту під час функціонування зазначеної системи у відповідному режимі.

В особливий період єдина державна система цивільного захисту функціонує відповідно до цього Кодексу та з урахуванням особливостей, що визначаються згідно з вимогами законів України «Про правовий режим воєнного стану».

Таким чином, для приміщення, що обладнано персональними комп'ютерами з візуальними дисплейними терміналами передбачено комплекс заходів по забезпеченню безпеки, виробничої санітарії, гігієни праці і пожежної безпеки забезпечує безпечні та комфортні умови праці персоналу.