

Міністерство освіти і науки України  
Національний університет «Полтавська політехніка  
імені Юрія Кондратюка»  
Навчально-науковий інститут архітектури, будівництва та землеустрою  
Кафедра будівництва та цивільної інженерії

## **Пояснювальна записка**

до кваліфікаційної магістерської роботи

на тему: **«Дослідження довговічності матеріалів  
для підлог за критерієм стираності»**

Виконав: Д.В. Петленко

студент групи 601-БТ  
спеціальності 192 – будівництво  
та цивільна інженерія,  
ОП «Технології будівельних  
конструкцій, виробів і матеріалів»

Керівник О.В. Демченко

Завідувач кафедри О.В. Семко

**Полтава 2026**

## ЗМІСТ

Вступ .....	4
розділ 1 Літературний огляд .....	6
1.1 Загальні методи оцінювання довговічності матеріалів та конструкцій .....	6
1.2 Оцінювання довговічності при зношуванні .....	18
1.3 Методи досліджування стираності будівельних матеріалів .....	26
1.4 Довговічність матеріалів для підлог .....	30
1.5 Висновки з розділу .....	32
РОЗДІЛ 2 Мета роботи та задачі дослідження .....	35
РОЗДІЛ 3 .....	36
3.1 Характеристика випробуваних матеріалів і зразків .....	36
3.2 Методика експериментальних досліджень .....	37
3.4 Методика статистичної обробки результатів випробувань .....	43
РОЗДІЛ 4 Дослідження стираності матеріалів при зворотньо- поступальному рухові стираючого пристрою .....	48
РОЗДІЛ 5 Аналіз результатів досліджень .....	57
5.1 Результати досліджень отримані за стандартними методиками та їх статистичний аналіз .....	57
5.2 Результати експериментальних досліджень проведених на дослідній установці та їх аналіз .....	62
РОЗДІЛ 6 Охорона праці та безпека життєдіяльності .....	79
6.1 Класифікація приміщень за рівнем електробезпеки .....	79
6.2 Організація безпечної експлуатації електроустановок .....	80
6.3 Технічні засоби безпечної експлуатації електроустановок при нормальному режимі роботи .....	81
6.4 Інженерні рішення з техніки безпеки у цеху .....	84
РОЗДІЛ 7 Висновки та рекомендації за результатами дослідження .....	86
Список використаних джерел .....	88

## ВСТУП

На сучасному етапі ринкових відносин якість будівельних матеріалів стала однією з найважливіших проблем. Оскільки в наш час випускають дуже різноманітний спектр продукції з різними фізико-механічними властивостями, виникає проблема раціонального вибору будівельних матеріалів відповідно до конкретних експлуатаційних вимог та умов експлуатації.

Властивості будівельних матеріалів значною мірою залежать від їхньої структури, хімічного, мінералогічного та фазового складу, а також від умов експлуатації. Обираючи певний матеріал, потрібно враховувати його конструктивне призначення, а також дію зовнішніх факторів ( фізичних чи хімічних ), під впливом яких змінюються властивості вибраного матеріалу .

Підвищення ефективності і якості будівельних матеріалів пов'язано з вирішенням багатьох питань, в тому числі раціональним використання властивостей матеріалів і однією з найважливіших задач підвищення довговічності цих матеріалів. Проблеми довговічності в першу чергу залежать від правильного вибору стійких матеріалів призначених для експлуатації в різних оточуючих середовищах .

Вивчення довговічності будівельних матеріалів і способів її підвищення носить комплексний характер і будується на органічному поєднанні натурних обстежень, експериментальних лабораторних і виробничих досліджень та теоретичних розробок.

Незважаючи на різноманіття матеріалів для покриття підлог і умов їх роботи, формування показників довговічності відбувається за загальними законами, підкоряється єдиній логіці подій і розкриття цих зв'язків є основою для оцінки, розрахунку і прогнозування довговічності, а також для побудови раціональних схем виробництва, випробувань та експлуатації матеріалів.

Натурні обстеження один з найбільш ефективних шляхів вивчення дійсної роботи матеріалу, який в свою чергу являється одним з найважливіших напрямків

його вдосконалення. В натурних умовах найкраще можна виявити якість матеріалу, який працює в даних умовах експлуатації .

Значну увагу при оцінюванні довговічності підлог приділяють стираності адже стираність є одним з серед найважливіших показників для покриттів для підлог.

Статистичний аналіз відмов дає лише загальне уявлення про надійність конструкції, тоді як ефективне управління довговічністю потребує розрахункових методів прогнозування ще на стадії проектування та виробництва. Виходячи з цього, моделювання терміну служби покриттів для підлоги за інтенсивністю стирання є актуальною темою, що має пряме прикладне значення.

## РОЗДІЛ 1

### ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

#### **1.1 Загальні методи оцінювання довговічності матеріалів та конструкцій**

##### **1.1.2. Основні поняття і показники**

У процесі дослідження надійності будівельних конструкцій та матеріалів аналізу піддається широкий спектр різнопланових об'єктів. Для будівельного матеріалознавства об'єкт розгляду називатимемо виробом. В даній роботі як виробу ми розглядаємо матеріали для покриття підлог. Сюди відносяться лакофарбові та полівінілхлоридні рулонні матеріали, дерев'яні та паркені дошки, кам'яні плити, керамічна плитка, та ін.

Рішення задачі по підвищенню або оцінці надійності складної конструкції звичайно включає розгляд її елементів: як окремих виробів а також матеріалів, що застосовані при будівництві.

Будь-який виріб визначається сукупністю вихідних параметрів — кількісних та якісних величин, що формують його якісні характеристики. Залежно від функціонального призначення та встановлених нормативів, ці показники можуть описувати широкий спектр властивостей: від експлуатаційних та фізико-механічних до технологічних та техніко-економічних чинників [2].

Як правило, гранично допустимі значення цих параметрів чітко регламентуються нормативно-правовою документацією (ДСТУ, ТУ). Слід зауважити, що фінальні характеристики готової продукції безпосередньо корелюють із властивостями сировинних компонентів, використаних у процесі виробництва.

Нижче приведені основні терміни та визначення надійності, які використовуються у механіці та які ми будемо використовувати в нашій роботі.

Згідно з нормативними вимогами, працездатність є інтегральним показником стану виробу, що забезпечує виконання його цільового призначення за умови збереження контрольованих параметрів у межах допусків. Технічна документація при цьому виступає регулятором, що описує допустимі зовнішні впливи та стратегію технічного обслуговування[6]. Таким чином, критерій працездатності включає не лише здатність до експлуатації, а й сталість вихідних характеристик.

Порушення цих умов ідентифікується як відмова, наслідки якої оцінюються залежно від їхньої тяжкості — від легких дефектів до аварійних випадків. Подальший виклад матеріалу зосереджений на ідентифікації ризиків та класифікації типів відмов за рівнем їхньої критичності.

Під терміном «відмова» розуміють подію, що спричиняє втрату об'єктом стану працездатності. Наслідки таких порушень суттєво різняться за ступенем тяжкості: від мінімальних функціональних збоїв до масштабних аварійних випадків. З огляду на це, пріоритетним завданням є розробка метрик для аналізу критичності та системна класифікація дефектів[7].

Поява будь-якої відмови пов'язана з певним часовим інтервалом, який має характер випадкової величини. Методологія оцінки експлуатаційного ресурсу залежить від природи виникнення несправностей. У першому випадку, коли деструктивні процеси (корозія, температурне старіння або радіаційний вплив) зумовлені переважно зовнішнім середовищем, показник визначається календарною тривалістю, що класифікується як термін служби до відмови.

Натомість для більшості технічних систем визначальним є не календарний час, а фактична інтенсивність їх використання (кількість циклів навантаження, кілометраж, обсяг виробленої продукції). Такий сумарний вимір експлуатації до моменту втрати працездатності визначається як напрацювання до відмови [9].

Специфікація виробу або його конструктивних елементів зазвичай визначається комплексом вихідних характеристик. Показники довговічності, такі як термін служби або напрацювання до відмови, детермінуються часовим

інтервалом, за якого хоча б один із ключових параметрів досягає свого ліміту. При цьому тривалість експлуатаційного циклу може бути обмежена регламентом з огляду на технічну доцільність відновлення або через зростання ризиків під час подальшого використання об'єкта [6].

Показники експлуатації до моменту досягнення встановленого межового стану визначаються як ресурс або встановлений термін служби. Важливо розрізнити ці поняття: тривалість функціонування до моменту відмови є величиною стохастичною (випадковою), тоді як ресурс та допустимий термін експлуатації є величинами детермінованими (невипадковими). Відповідно до ДСТУ 2860-94, доцільно оперувати такими категоріями, як призначений, середній або гамма-відсотковий ресурс (термін служби).

У широкому розумінні надійність — це здатність об'єкта підтримувати стан працездатності протягом визначеного періоду. Ця комплексна характеристика об'єднує в собі безвідмовність та довговічність. Диференціація надійності на ці складові залежить від тривалості аналізованого інтервалу, а також від врахування процесів реновації та технічного обслуговування [6].

Безвідмовність визначається як здатність об'єкта підтримувати стан працездатності безперервно протягом встановленого часового інтервалу або певного обсягу напруження. Натомість довговічність відображає здатність виробу функціонувати до досягнення ним граничного стану, що охоплює весь експлуатаційний цикл за умови дотримання регламентованої системи сервісного обслуговування та ремонтів. Отже, інтегральний показник надійності базується на цих двох категоріях: безвідмовність фокусується на автономному функціонуванні без зовнішнього втручання, тоді як довговічність розглядає життєвий цикл виробу в цілому, враховуючи необхідність періодичних відновлювальних та профілактичних заходів для регенерації ресурсу. [11].

Надійність виробу визначається сукупністю випадкових факторів, що потребує застосування методів теорії ймовірностей для їхньої математичної формалізації. Зокрема, факт виникнення відмови ідентифікується як випадкова

подія, а ресурсний інтервал до її настання — як випадкова величина. Динаміка втрати працездатності, спричинена зносом, моделюється як випадкова функція. Саме тому показники, що характеризують надійність технічної системи, базуються на імовірнісних закономірностях [8].

*Критерії оцінки безвідмовності виробу.* Ключовим індикатором безвідмовності виступає ймовірність безвідмовної роботи  $P(t)$ , яку також називають коефіцієнтом надійності. Цей показник визначає математичну ймовірність того, що протягом встановленого часового проміжку або обсягу напрацювання об'єкт функціонуватиме без збоїв. Оскільки  $P(t)$  є імовірнісною величиною, її значення варіюються в діапазоні  $0 \leq P(t) \leq 1$  [12]. Для ілюстрації: якщо показник  $P(t)$  для певного матеріалу чи виробу за 1000 годин експлуатації становить 0,95, це свідчить про те, що в репрезентативній вибірці аналогічних об'єктів у середньому 5% одиниць вийдуть із ладу до досягнення вказаного терміну. Параметр  $P(t)$  також використовується для прогнозування індивідуальної надійності окремого виробу, визначаючи його шанси на безаварійну експлуатацію. Сукупність імовірності безвідмовної роботи  $P(t)$  та імовірності виникнення відмови  $Q(t)$  складає повну групу подій, тому

$$P(t) + F(t) = 1.$$

Вибір нормативного значення  $P(t)$  безпосередньо залежить від рівня критичності наслідків можливої відмови. Зокрема, для стратегічно важливих вузлів авіаційної галузі встановлюються надвисокі вимоги до надійності, де показник  $P(t)$  може сягати 0,9999 і більше, що фактично відповідає стану абсолютної безвідмовності [8].

У випадках, коли відмова спричиняє лише невеликі фінансові збитки, нормативний рівень  $P(t)$  може бути суттєво зменшений. Важливо наголосити, що показник ймовірності безвідмовної роботи є коректним лише за умови чіткого визначення часового інтервалу  $t = T$ , для якого він розрахований. На рис. 2 продемонстровано характер зміни функції безвідмовності  $P(t)$ . Пунктирна лінія відображає криву ймовірності виникнення відмов  $F_1(t)$ , яка є

дзеркально симетричною відносно  $P(t)$ . Точка перетину цих кривих відповідає медіанному (середньому) ресурсу або напрацюванню виробу  $t = T_{cp}$ , при якому  $P(t) = F(t) = 0,5$ , де значення обох функцій становлять 0,5.

На графіку ми бачимо, що для даного виробу якщо він працює протягом  $t = T_1$  безвідмовність роботи доволі висока, так як  $P_1(t) \approx 1$ , а при  $t = T_2$  значення  $P_1(t) = 0,8$ . Кожному виробу відповідно від його працездатності належить своя крива  $P(t)$ . На мал. 2 наведена крива  $P_2(t)$  для більш надійного виробу, для нього область безвідмовної роботи є значно більшою і, наприклад, при  $t = T_2$  значення  $P_2(t) \approx 1$ .

Вибираючи значення  $T$  можна для будь-якого виробу забезпечити необхідне  $P(T)$ , оскільки вони зв'язані функціональною залежністю

$$P(t) = \int_{t=T}^{\infty} f(t) dt, \quad (1.1.1)$$

$P(t)$  — ймовірність того, що система або компонент пропрацює без збоїв довше, ніж час  $t$ . Цю функцію також називають функцією виживаності та визначений інтеграл від початкового часу  $T$  до нескінченності. Інтеграл від функції густини ймовірності відмови  $f(t)$  від моменту часу  $t=T$  до нескінченності обчислює загальну ймовірність того, що відмова відбудеться після заданого моменту часу  $T$ .

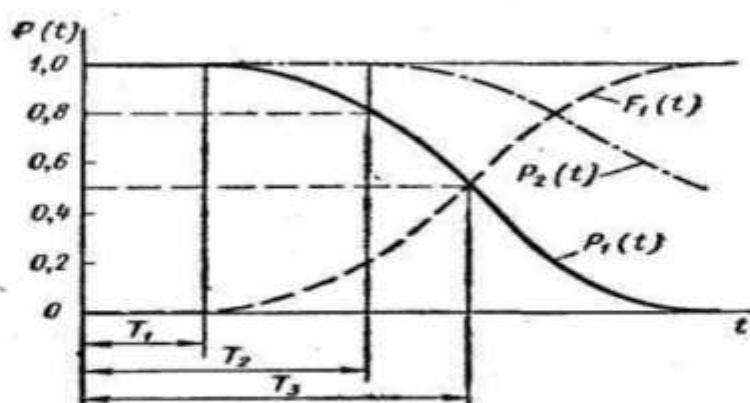


Рис.1.1.1 Залежність вірогідності безвідмовної роботи  $P(t)$  виробу від часу його експлуатації

де  $f(t)$  — функція густини ймовірності відмови (напрацювання) виробу по даному вихідному параметру (див. рис.1.1.1). При цьому можуть бути два способи вибору показників [8].

1. Оцінка надійності за високих вимог. У разі жорстких вимог до безвідмовності виробу нормативним параметром задають допустиме значення ймовірності  $P(t) = \gamma \%$ , а потім визначають відповідний часовий інтервал  $t = T_\gamma$ . Ця величина, що називається гамма-відсотковим ресурсом, слугує ключовим критерієм для кількісної оцінки рівня надійності об'єкта.

2. Оцінка надійності за стандартних вимог. За умови стандартних експлуатаційних вимог, коли потенційна відмова не спричиняє катастрофічних наслідків, доцільно оперувати поняттям призначеного ресурсу  $t = T_p$  або терміну служби  $t = T_{сл}$  (наприклад, виходячи з необхідності проведення планового технічного обслуговування). У цьому випадку про безвідмовність системи судять безпосередньо за абсолютним значенням функції  $P(t)$ .

Незважаючи на те, що ймовірність безвідмовної роботи  $P(t)$  є ключовим індикатором надійності за певний період  $t = T$ , існують ситуації, коли цей показник втрачає свою інформативність і потребує доповнення іншими метриками. Перша така ситуація виникає, коли протягом аналізованого інтервалу  $t = T$  прогнозується виникнення відмов  $P(t) > 0$ . Це типово для несправностей, що легко усуваються і не мають значних критичних наслідків (наприклад, косметичний ремонт пошкодженої ділянки покриття підлоги або заміна окремих елементів). У подібних випадках для кількісної оцінки безвідмовності доцільно використовувати інші показники, зокрема провідну функцію  $\Omega(t)$  — середню очікувану кількість відмов за час  $t$ , або ж параметр потоку відмов.

$$\omega(t) = \frac{d\Omega(t)}{dt} = \frac{1}{T_{cp}}, \quad (1.1.2)$$

де  $T_{cp}$  — Середній час до відмови або середнє напрацювання на відмову, визначається як частка від ділення сумарної тривалості експлуатації об'єкта

на загальну кількість відмов, що виникли за цей період. Цей показник ілюструє середню тривалість безперебійного функціонування виробу [5].

Параметр потоку відмов, своєю чергою, характеризує середню кількість несправностей, що припадають на одиницю часу роботи. Оцінка надійності високонадійних систем. Інша крайня ситуація, що ускладнює застосування функції  $P(t)$ , виникає під час аналізу виробів із надвисокою надійністю, де значення  $P(t)$  наближається до одиниці або дорівнює їй. Досягнення такого рівня безвідмовності  $P(t) = 1$  можливе завдяки впровадженню надмірності (резервування), тобто наявності значного запасу надійності. Кількісна оцінка цього запасу здійснюється шляхом моделювання фізичних процесів, що спричиняють деструкцію, та визначення максимально допустимої швидкості розвитку цих процесів для конкретних умов експлуатації.

Параметр потоку відмов — це середнє число відмов виробу в одиницю часу. [8].

Протягом фіксованого інтервалу часу  $t = T_o$  вихідний параметр виробу  $X$  демонструє варіативність, оскільки є випадковою величиною. Проте для розрахунків виділяють його граничне значення —  $X_{ек}$  (рис. 1.1.1). Цей показник відповідає найгіршому сценарію роботи, наприклад, інтенсивному зносу механізму за критичних умов експлуатації (пікові навантаження, робота без мастильних матеріалів тощо). [13].

Якщо гранично допустиме значення параметра, що призводить до виходу виробу з ладу  $X_{max} > X_{ек}$ , перевищує його розрахункову екстремальну величину  $X_{ек}$ , то коефіцієнт (запас) надійності  $K_n$  обчислюється за формулою:

$$K_n = \frac{X_{max}}{X_{ек}} \triangleright 1 \quad (1.1.3)$$

Розрахунок коефіцієнта надійності також може базуватися на порівнянні критичної межі  $X_{max}$  із показником  $X_\gamma$ . Останній визначає такий рівень параметра, який не буде перевищений із гарантованою ймовірністю  $\gamma$ .

$$K_n = \frac{X_{max}}{X_t} \quad (1.1.4)$$

Оскільки технічний стан об'єкта безперервно змінюється під час використання, коефіцієнт надійності є часовою функцією  $K_n(t)$ . Як правило, цей показник поступово знижується внаслідок деградаційних процесів у матеріалах. Крім самого значення коефіцієнта, важливим критерієм оцінки надійності є також інтенсивність (швидкість) скорочення цього запасу з часом.

$$\gamma_n = \frac{dK_n}{dt} \quad (1.1.5)$$

При дослідженні безвідмовності ключовим фактором є безпосередня втрата працездатності виробу, тоді як витрати часу та ресурсів на її відновлення залишаються поза межами цього аналізу. Даний показник застосовується як до компонентів, так і до всього виробу, де тип відмови визначається конкретними вихідними характеристиками. Залежно від критичності наслідків, відмови класифікують для подальшого нормування рівнів надійності. Необхідно пам'ятати, що технічне обслуговування або ремонт можуть здійснюватися планово, навіть якщо вихідні параметри залишаються в межах норми. [13].

*Оцінка довговічності* базується на аналізі здатності виробу зберігати працездатність протягом усього терміну служби. При цьому виділяють:

*Рівні оцінки:* індивідуальна довговічність елемента та загальна довговічність конструкції.

*Базовий показник:* Ключовим критерієм довговічності окремого компонента вважається його ресурс або сумарне напрацювання до моменту настання першої відмови  $T$ . Воно визначається точкою перетину випадкової функції деградації  $X$  із граничним допуском  $X_{max}$ .

*Математичний апарат:* Через імовірнісну природу руйнування матеріалів, термін служби  $T$  розглядається як випадкова величина. Її аналізують за допомогою законів розподілу (рис. 1.1.2) [3]. Термін служби (напрацювання)

до відмови  $t = T$  є випадковою величиною, що характеризується деяким законом розподілу, наприклад густиною вірогідності  $f(t)$  ( рис.1.1.2 ) і числовими характеристиками — математичним очікуванням  $M(t)$  дисперсією  $D = \sigma^2$  і ін.

Якщо є встановлений показник вірогідності безвідмовної роботи  $P(t)$ , то відповідне йому значення  $T$  перетворюється на не випадкову величину — гамма-відсотковий ресурс. Термін роботи (ресурс)  $T_p$  є не випадковою величиною і тоді, коли його значення задано виходячи з тих або інших умов [9].

Після відпрацювання призначеного ресурсу  $t = T_p$  матеріал або виріб повинні ремонтуватися або замінюватися. Варто звернути увагу на типову помилкову думку про те, що функціонування виробу зазвичай триває аж до настання критичної відмови.

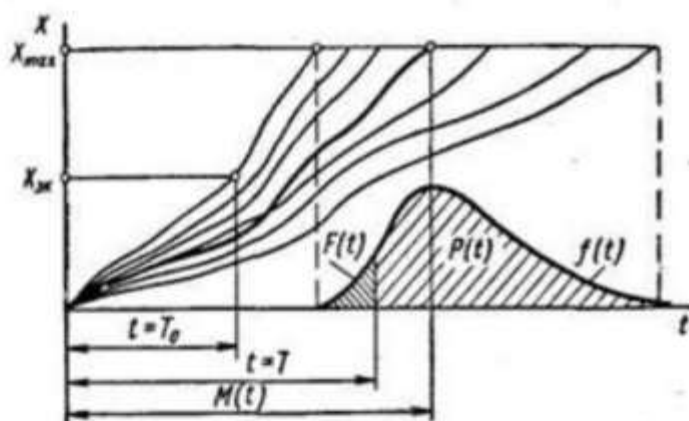


Рис. 1.1.2. Формування закону розподілу часу безвідмовної роботи

Вищезазначене стосується лише тих складників, чия відмова не є критичною для виробу. У практиці експлуатації найчастіше застосовується регламентований ресурс, тому компоненти вилучаються з роботи, ще володіючи потенціалом надійності. Це робиться для запобігання аварійним ситуаціям.

На відміну від простого елемента, де довговічність визначається одним параметром  $T$ , складні багаторівневі системи вимагають комплексного підходу через наявність тисяч взаємопов'язаних частин. Слід враховувати, що навіть для одного вузла може бути встановлено кілька часових лімітів, кожен з яких відповідає певній фізичній причині можливої деградації чи втраті якості. [11].

Способи відновлення працездатності варіюються залежно від типу деградації системи. Оцінюючи довговічність складного об'єкта, необхідно інтегрувати показники напрацювання всіх його елементів та чітко визначити критерії граничного стану.

Кінцевий термін служби виробу визначається двома ключовими аспектами:

Економічна ефективність: витрати на підтримку надійності при фізичному зношуванні не повинні перевищувати встановлені ліміти.

Технологічна актуальність: при моральному старінні споживча цінність об'єкта нівелюється появою досконаліших аналогів. Рішення про модернізацію або заміну приймається на основі довгострокових планів розвитку галузі та аналізу рентабельності. (рис.1.1.1).

Для певних категорій техніки існує поріг критичної тривалості використання. Після досягнення цієї межі витрати на підтримання працездатності стрімко збільшуються через деградацію ключових високовартісних вузлів або через неприпустимі ризики для безпеки.

Оцінювання довговічності комплексних об'єктів базується на двох групах критеріїв. До першої належать індикатори, що відображають відхилення головних технічних параметрів системи від встановлених норм. Це стосується передусім точності роботи, енергоефективності (ККД), швидкісних та потужних характеристик агрегату. У такому контексті базовим показником довговічності виступає ресурс (або часовий термін), по завершенні якого виріб досягає граничного стану, що робить його подальшу експлуатацію технічно неможливою або недоцільною.

Довговічність технічної системи також визначається ефективністю її експлуатації: об'єкт має стабільно виконувати свої завдання з мінімальною потребою в налагодженні та відновлювальних роботах. Критерієм довговічності тут виступає інтенсивність ресурсоспоживання на сервісні операції. Чим нижча питома вартість та тривалість ремонтних циклів за весь

період використання, тим вищою вважається довговічність даної конструкції. [6].

Показник, що визначає довговічність конструкції чи матеріалу, можемо використовувати коефіцієнт технічного використання  $K_{тв}$ , який розраховується за формулою

$$K_{тв} = \frac{T_{роб}}{T_{роб} + \sum_{i=1}^n T_{рем}} \quad (1.1.6)$$

де  $T_{роб}$  — час роботи матеріалу або виробу за встановлений період експлуатації;

$\sum T_{рем}$  — сумарний час на проведення ремонтів конструкції за цей же період експлуатації.

Коефіцієнт технічного використання вважається безрозмірною величиною ( $0 < K_{тв} < 1$ ). Він чисельно рівний вірогідності того, що в даний, довільно використаний період часу конструкція працює, а не ремонтується.

Коефіцієнт технічного використання, що береться за період між плановим ремонтом і технічним обслуговуванням, має назву коефіцієнт готовності  $K_g$ .

Коефіцієнт готовності  $K_g$  відображає стійкість системи до раптових несправностей. Його значення вказує на те, наскільки ефективно регламентні роботи та сервісні заходи запобігають випадковим збоям. Математично цей показник визначає ймовірність того, що об'єкт перебуватиме у функціональному стані в будь-яку обрану мить експлуатаційного періоду, за винятком часу, відведеного на заплановану профілактику та ремонт. [11].

Важливо зауважити, що на коротких часових відрізках коефіцієнт технічного використання  $K_{тв}$  не може слугувати вичерпним критерієм ефективності. Низькі експлуатаційні витрати на початкових етапах не гарантують економічності системи в довгостроковій перспективі. Навпаки, ігнорування планового сервісу та профілактики заради миттєвої економії неминуче призводить до прискореної деградації вузлів, що згодом виллється у

значні фінансові та часові витрати під час капітального відновлення. З огляду на це, оцінювання доцільно проводити за повний життєвий цикл об'єкта або, як мінімум, за період до першого капітального ремонту. Відтак, базовим індикатором довговічності має виступати *коефіцієнт довговічності*  $K_d$ , що розраховується як значення  $K_{гв}$ , інтегроване за весь термін експлуатації виробу.

Об'єктивну оцінку надійності доцільно проводити, охоплюючи повний життєвий цикл об'єкта або принаймні інтервал до проведення першого капітального ремонту. Ключовим індикатором довговічності в такому разі виступає коефіцієнт  $K_d$ , який розраховується як значення технічного використання за сукупний період експлуатації. Слід зауважити, що тривалість простоїв на сервіс та відновлення визначається не лише обраною стратегією утримання чи рівнем технологій, а й конструктивною специфікою самого виробу. Важливим аспектом тут є ремонтпридатність — здатність конструкції бути адаптованою до швидкого виявлення та усунення пошкоджень. Ця властивість прямо впливає на сумарні витрати часу  $\Sigma T_{рем}$  і є невід'ємним компонентом загальної довговічності. Для точного обчислення  $K_d$  необхідно виявити його функціональний зв'язок із індивідуальними ресурсами окремих складників системи. Для визначення коефіцієнта довговічності  $K_d$  необхідно встановити його залежність від термінів служби елементів виробу.

Час простою через ремонт даного  $i$ -го матеріалу виробу буде

$$T_{рем i} = \frac{T_{роб}}{T_i} \tau_i, \quad (1.1.7)$$

де  $T_i$  — термін служби або напрацювання матеріалу до відмови  $i$ -го матеріалу (вузла) виробу;  $\tau_i$  — тривалість або трудомісткість ремонту  $i$ -го матеріалу, включаючи монтаж.

Відношення  $T_{роб}/T_i$  показує, скільки разів протягом даного часу, рівного  $T_{роб}$ , ремонтувався даний матеріал. Для визначення  $K_d$  потрібно використовувати той період часу  $T_{роб}$ , в якому мають місце всі види відмов, враховуємо більше, ніж термін служби  $T_i$  будь-якого матеріалу.

Підсумовуючи, слід зазначити, що встановлення ресурсу або терміну експлуатації складної системи має базуватися на двофакторному підході: забезпеченні гарантованого рівня безпеки та аналізі економічної доцільності, що включає сукупні витрати часу й ресурсів на відновлення працездатності.

## 1.2. Оцінювання довговічності при зношуванні

1.2.1. Природа процесів зношування. Знос як результат взаємодії твердих тіл при терті.

Знос, який виникає при терті матеріалу взуття і поверхнею підлоги, є характерним видом пошкодження більшості підлог.

*Зношування* — це поступова зміна параметрів об'єкта, що виникає внаслідок тертя. Вона проявляється у відділенні частинок матеріалу з робочої поверхні або в її незворотній деформації. Цей процес може супроводжуватися корозією і є складним явищем, що включає фізичні та хімічні взаємодії. При зіткненні двох дотичних поверхонь та їхньому відносному русі між зовнішніми шарами виникають механічні й молекулярні сили, які зрештою призводять до пошкодження мікроскопічних обсягів цих поверхонь, тобто до їхнього зносу. [12].

Згідно сучасним уявленням, що спираються на досягнення в області фізики твердого тіла, теорії в'язкого і крихкого руйнування металів, законів фізико-хімічної механіки, теорії поверхневих явищ і спеціальних досліджень в області зносу можна оцінити основні чинники, що обумовлюють характер та інтенсивність перебігу процесу зношування. [3].

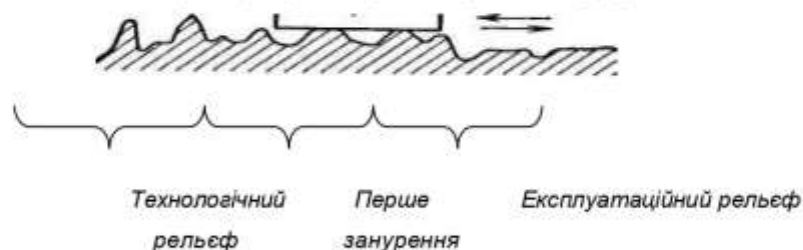




Рис.1.2.1. Схема переходу технологічного рельєфу поверхні в експлуатаційний

Основний принцип полягає в розумінні того, що взаємодія нерівних поверхонь відбувається переривчасто, створюючи локальні точки контакту та, як наслідок, фрикційні зв'язки, які визначають процес зношування. Ці засади дозволяють пов'язати стирання поверхні з процесами, що відбуваються у деформованих мікроскопічних об'ємах матеріалу. Стан напруги в цих об'ємах залежить від прикладеної сили, характеру тертя, форми дрібних нерівностей та фізичних властивостей матеріалу. Переривчастий характер контакту та утворення багатьох зон тертя є наслідком того, що реальні поверхні мають складний рельєф, що включає шерсткість та хвилястість.

У процесі зношування початковий (технологічний) мікрорельєф перетвориться в експлуатаційний (рис.1.2.1).

При цьому, як показали численні дослідження, встановлюється та шерсткість поверхні, яка відповідає даному процесу руйнування поверхневих шарів в період нормального зносу. Вона може стати більш грубою або більш гладкою, ніж початкова шерсткість. Встановлення технологічної шерсткості, близької до експлуатаційної, зводить до мінімуму період прироблення, оскільки в цьому випадку при відділенні мікро об'ємів матеріалу при зносі поверхні відновлюється аналогічний мікрорельєф [5].

Зношування переважно спричиняється безперервним утворенням та руйнуванням зв'язків тертя, які поєднують молекулярні та механічні аспекти. Ці зв'язки поділяються на п'ять головних типів залежно від способу взаємодії матеріалів, що передбачає пружну або пластичну деформацію матеріалу, мікроскопічне різання, пошкодження захисних оксидних шарів або руйнування самої основи матеріалу через адгезію (молекулярне зчеплення). Отже, зношування є наслідком багаторазового розриву цих зв'язків тертя. [7].

### 1.2.2. Модель формування поступових відмов

*Загальна схема формування відмови* [11]. Розглянемо типову схему формування відмови виробу (рис.1.2.2), коли низка деградаційних процесів спричиняє зміну в часі вихідного параметра  $X$ . Відмова настає при досягненні параметром свого критичного значення  $X_{max}$ , що відбувається після випадкового проміжку часу роботи виробу.

На діаграмі зображені основні етапи еволюції закону розподілу  $f(t)$ . На початковій стадії спостерігається дисперсія параметрів виробу  $f(a)$  відносно його середнього значення  $a_0$ . Ця обставина зумовлена розсіюванням вихідних показників нового продукту, варіативністю умов його функціонування, а також розвитком таких процесів, як вібрація, деформація тощо, які проявляються відразу при введенні виробу в експлуатацію. Надалі на погіршення параметрів виробу в процесі використання впливають повільно протікаючі процеси, як-от зношування. Як правило, процес зміни параметра може ініціюватися після певного часового інтервалу  $T_e$ , який також є стохастичною величиною і пов'язаний з акумуляцією пошкоджень (наприклад, втомних) або впливом зовнішніх факторів.

Процес зміни параметра  $X$  із швидкістю  $\gamma_x$  також є випадковим і залежить від зміни пошкоджень окремих елементів виробу (їх зносу із швидкістю  $\gamma_1, \gamma_2 \dots \gamma_k$ ) [13].

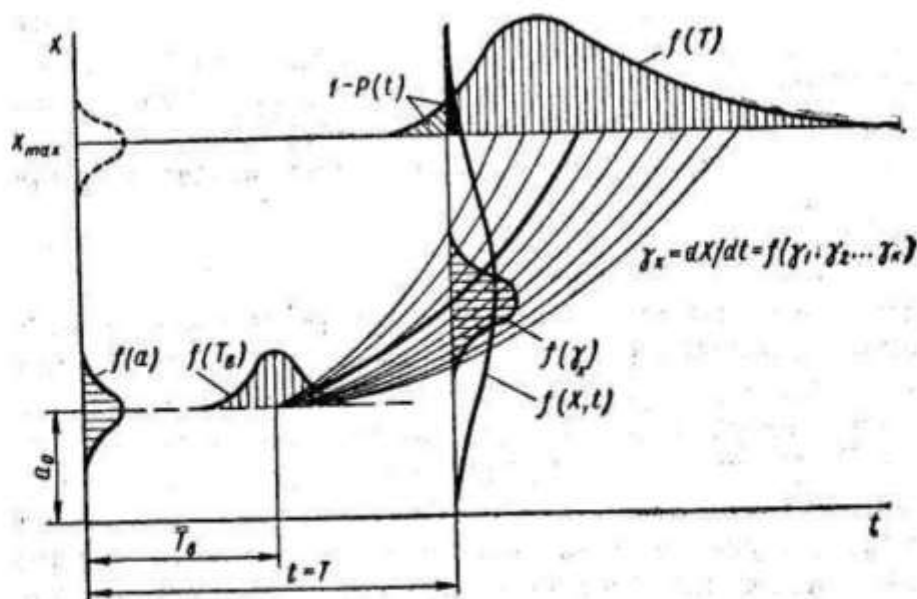


Рис.1.2.2. Загальна схема формування відмови

У результаті згаданих явищ формується закон розподілу  $f(X; t)$ , який визначає ймовірність того, що параметр  $X$  перевищить свій максимальний поріг  $X_{max}$ . Це, по суті, є ймовірністю відмови  $F(t) = 1 - P(t)$ . Важливо зазначити, що в загальному випадку значення  $X_{max}$  також може демонструвати розсіювання, якщо воно відображає діапазон споживчих вимог до граничних значень характеристик продукту або матеріалу.

Ця загальна схема описує механізм виникнення відмови і, за певних значень вхідних параметрів, може ілюструвати різні випадки, типові для конкретних умов експлуатації та конструктивних особливостей виробу. Якщо процес зміни параметра починається негайно ( $T_0 = 0$ ), це відповідає типовій схемі виникнення поступової параметричної відмови. Якщо після досягнення  $X_{max}$  відбувається різке збільшення  $X(t)$ , то, як правило, виникає відмова функціонування. Якщо ж у процесі формування відмови ключову роль відіграє початкове зародження процесу, тобто функція  $f(T_0)$ , а потім процес розвивається з надзвичайно високою інтенсивністю ( $X(t) \rightarrow \infty$ ), то це є моделлю раптової відмови [13].

Варіабельність вихідних характеристик продукції (позначимо їх як 'а') необхідно брати до уваги при аналізі певної сукупності виробів, наприклад, усіх машин конкретної моделі, вироблених підприємством. Якщо ж розглядається індивідуальний зразок, то значення цього параметра ('а') стає детермінованим (невипадковим), оскільки воно визначає первинні властивості саме цього об'єкта.

Проте, якщо брати до уваги мінливість параметрів продукції або матеріалу, що виникає під час її експлуатації в різних умовах, то параметр 'а' набуватиме характеру випадкової величини навіть для окремого екземпляра.

*Модель формування поступової відмови даного виробу [13]*

Розглянемо найпоширеніший випадок, коли зміна параметра виробу  $X$  підкоряється лінійному закону [ 8 ].

$$X = kt \quad (1.2.1)$$

У даному випадку  $k = \gamma$  - це швидкість протікання процесу (швидкість зношування  $\gamma$ , або швидкість зміни параметра  $\gamma_x$ ), яка залежить, як правило, від великого числа випадкових чинників — від навантаження, швидкості, температури, умов експлуатації і т.п. Тому найбільш характерний випадок, коли вона підчиняється нормальному закону, тобто

$$f(\gamma) = \frac{1}{\sigma_\gamma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\gamma_X - \gamma_{cp})^2}{2\sigma_\gamma^2}} \quad (1.2.2)$$

де  $f(\gamma)$  — густина вірогідності;  $\gamma_{cp}$  — середнє значення (математичне очікування) швидкості процесу пошкодження або зміни вихідного параметра;  $\sigma_\gamma$  — середнє квадратичне відхилення швидкості процесу;

$$\delta = \frac{\sigma_\gamma}{\gamma_{cp}} - \text{коефіцієнт варіації (безрозмірна величина)}.$$

Гранично допустиме значення параметрів  $X_{max}$  встановлено з умови правильності функціонування виробу. При  $X = X_{max}$  настає граничний стан, яке і визначає термін служби (напрацювання) виробу до відмови  $t = T$ . Термін служби  $T$  є функцією випадкового аргументу  $\gamma$ , тобто

$$T = \varphi(\gamma) = \frac{X_{\max}}{\gamma} \quad (1.2.3)$$

Середній термін служби виробу

$$T_{cp} = \frac{X_{\max}}{\gamma_{cp}} \quad (1.2.4)$$

Як буде показано нижче, даний термін служби є медіаною  $T$ .

Задача полягає у відшуванні густини розподілу  $f(t)$  по заданій функції  $f(\gamma)$  (рис.1.2.3).

Ймовірність безвідмовної роботи чисельно рівна площі кривої густини розподілу  $f(X)$ .

$$P(T) = 0,5 + \Phi \left[ \frac{X_{\max} - \gamma_{cp} T}{\sigma_{\gamma} T} \right] \quad (1.2.5)$$

Розглянута схема є спрощеною, оскільки не враховує розсіювання початкових параметрів виробу.

$$\frac{T_{cp}}{\delta \sqrt{2\pi}} \frac{1}{T^2} e^{-\frac{(T_c}{2\delta^2 T^2}} \cdot$$

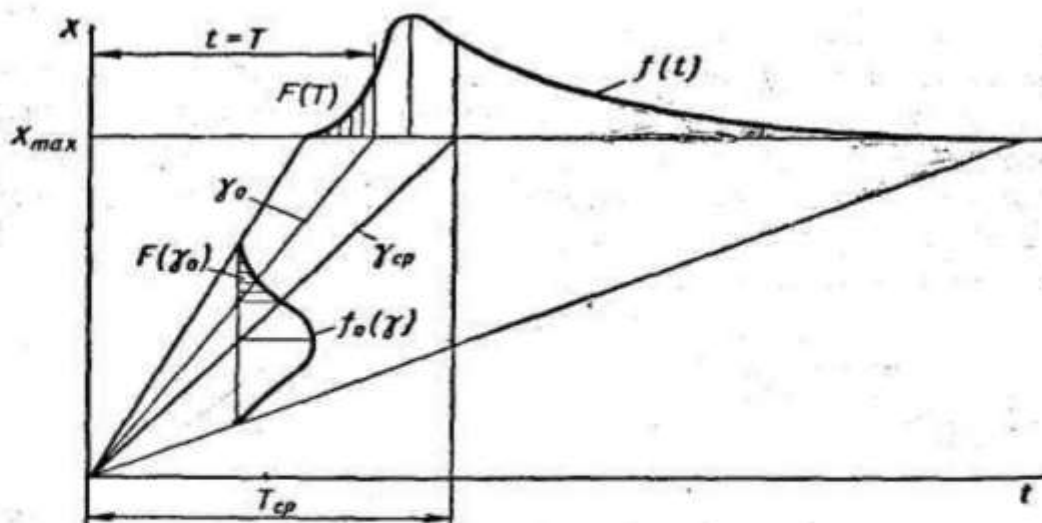


Рис.1.2.3. Схема формування поступової відмови даного виробу

### 1.2.3. Розрахунок вірогідності безвідмовної роботи виробу чи матеріалу по даному вихідному параметру [4].

Для розрахунку вірогідності безвідмовної роботи виробу чи матеріалу по заданому параметру можна використовувати той же методологічний підхід, що і для моделі поступових відмов. Проте одночасна дія процесів різних швидкостей ускладнює загальну картину втрати виробом працездатності і примушує розглядати формування відмови в два етапи.

Перший етап полягає в оцінці області розсіювання параметрів (області станів) до кінця періоду  $T_0$  (рис.1.2.4) [9]. Вона характеризується:

координатою центра групування

$$a' = a_0 + a_c(t) \quad (1.2.6)$$

і середнім квадратичним відхиленням

$$\sigma = \sqrt{\sigma_a^2 + \sigma_n^2 + \sigma_b^2 + (\sigma_c T_0)^2}, \quad (1.2.7)$$

$\sigma_a$ ;  $\sigma_n$ ;  $\sigma_b$  і  $\sigma_c$  — середні квадратичні відхилення параметра відповідно через початкові погрішності, настройку Виробу чи матеріалу, вібрації і розсіювання швидкості процесу зсуву центру групування.

Математичне очікування процесу середньої швидкості в загальному вигляді також може бути функцією часу.

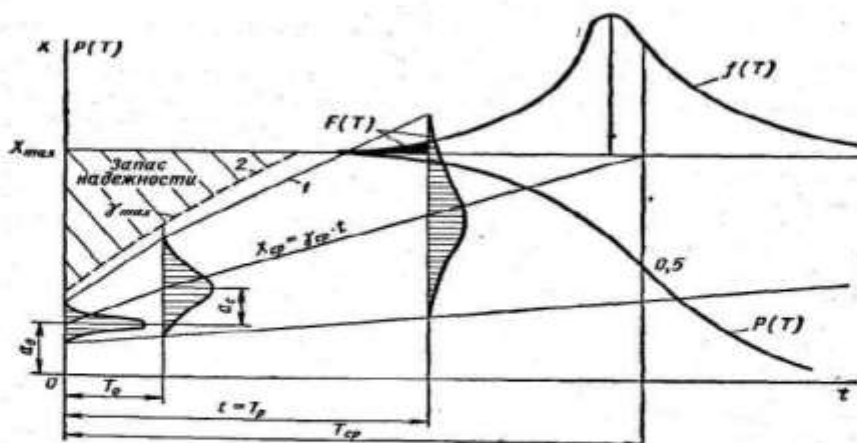


Рис.1.2.4. Схема для розрахунку вірогідності безвідмовної роботи Виробу чи матеріалу

Ці параметри є початковими для розрахунку  $P(t)$  по схемі рис.1.2.4. і формулі (1.2.6).

$$P(T) = 0,5 + \Phi \left[ \frac{X_{\max} - a_0 - \gamma_{\text{ср}} T}{\sqrt{\sigma_a^2 + \sigma_\gamma^2 T^2}} \right]. \quad (1.2.6)$$

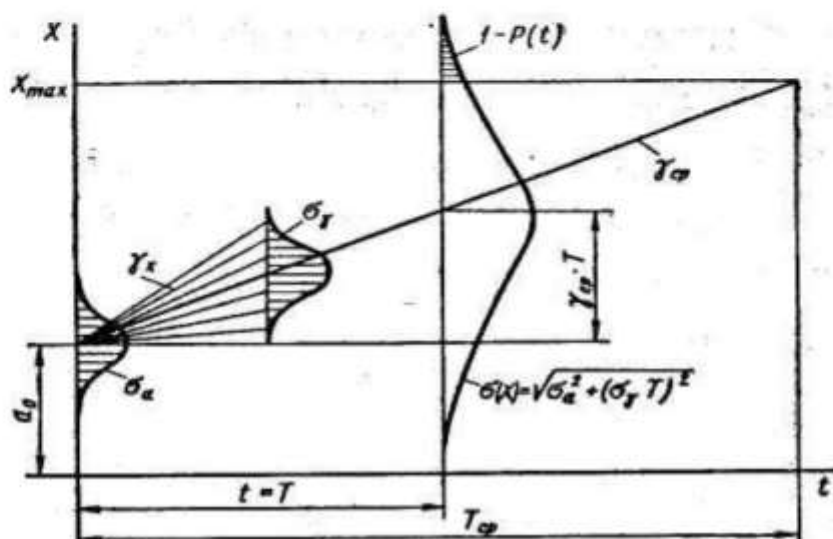


Рис.1.2.5. Схема формування відмови при розсіюванні початкових параметрів виробу

Другий етап зводиться до застосування формули (1.2.6) (при лінійній зміні параметра) для випадку, коли експериментально або теоретично визначені середня швидкість зміни ступеня пошкодження (або параметра)  $\gamma_{\text{ср}}$  (або  $\gamma_{\text{ср.х}}$ ) і її дисперсія  $\sigma_\gamma^2$  [13].

У результаті формула (1.2.6) прийме вигляд

$$P(T) = 0,5 + \Phi \left[ \frac{\delta - a_0 - a_c - \gamma_{\text{ср}} T}{\sqrt{\sigma_a^2 + \sigma_n^2 + \sigma_b^2 + (\sigma_c T_0)^2 + (\sigma_\gamma T)^2}} \right] \quad (1.2.7)$$

У загальному випадку дисперсії процесів також можуть бути функціями часу.

Слід мати у вигляді, що запас надійності, яким володіє виріб чи матеріал, визначається (рис.1.2.5) або реалізацією 1, оцінюючої межу регламентованої вірогідності ухвалення параметром даного крайнього значення, або реалізацією 2, відповідної максимальної швидкості процесу за найсприятливіших (а іноді і аварійних) умов роботи виробу чи матеріалу.

### 1.3 Методи досліджування стираності будівельних матеріалів

Методика визначення стираності окремих видів будівельних матеріалів приведена у відповідних ДСТУ. В таблиці коротко характеризуються методики для визначення стираності тих будівельних матеріалів, які використовуються в якості покриття для підлог.

Таблиця 1.3.1 Методи визначення стираності

Матеріал	Показник	ДСТУ, назва методу	Методика випробувань
Бетони	Втрата маси $G_t = \frac{m_1 - m_2}{F}, \text{ г/см}^2$	ДСТУ Б В.2.7-212:2009 Визначення стираності бетону на приладі типу „круг стирання”	Зразки встановлюють на круг стирання і привантажують. На стираючий диск насилають шліфзерно; обертанням диска проводять стирання.
	Коефіцієнт стирання $K_{G_t} = \frac{m_1 - m_2}{\tau \cdot F}, \text{ кг/М}^2 \cdot \text{год}$	ДСТУ Б В.2.7-212:2009 Визначення стираності бетону на приладі типу „барaban стирання”	Завантажують барабан зразками з абразивом, заповнюють водою. Обертаючись у барабані, зразки стираються.
Дерево	Показник стираності $t = h \cdot \frac{m_1 - m_2}{m_1}, \text{ мм}$ $t = h \cdot \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100\%, \%$	ДСТУ ISO 4469-1:2018	На зразок опускають вантаж із шліфу-вальною шкуркою, який стирає зразок при зворотно-поступальному русі столика установки.

Лакофарбові	<p>Міцність покриття до стирання</p> $X = \frac{m}{h}, \text{ кг/мкм}$ <p><math>m</math> – маса піска <math>h</math> – товщина покриття</p>	<p>ДСТУ ISO 20871:2009 ГОСТ 20811</p> <p>Метод А – визначення міцності покриття до стирання падаючим кварцевим піском</p>	<p>Для покриттів товщиною до 60 мкм. Визначають масу піску, необхідну для зруйнування покриття до основи при падінні на нього піску.</p>
	<p>Втрата маси</p> $M = K \cdot (m_1 - m_2)$	<p>ДСТУ ISO 20871:2009 ГОСТ 20811</p> <p>Метод Б – визначення стираності шліфувальною шкіркою</p>	<p>Визначають втрату маси покриття в результаті тертя поверхні покриття рухомою стрічкою шліфувальної шкірки при заданому навантаженні на зразок на апараті.</p>
Полівінілхлоридні	<p>Стираність матеріалу за зменшенням товщини</p> $\Delta h = \frac{m_1 - m_2}{\gamma \cdot S} \cdot K \cdot 10^4$ <p>Площа стирання</p> $S = \frac{\pi \cdot d^2}{4}, \text{ мм}$	<p>ДСТУ Б В.2.7-292:2011</p> <p>Метод визначення стираності на машині барабанного типу</p>	<p>Суть методу полягає у визначенні величини зменшення маси матеріалу при стиранні протягом заданої кількості циклів стирання</p>
Полівінілхлоридні матеріали	<p>Стираність матеріалу за зменшенням товщини</p> $\Delta h = \frac{m_1 - m_2}{\gamma \cdot S} \cdot K \cdot 10^4$ <p>Зносостійкість матеріалу за кількістю циклів дослідження</p> $C = \frac{C_\phi}{K}$	<p>ДСТУ Б В.2.7-292:2011</p> <p>Метод визначення стираності на машині із зворотно-поступальним рухом</p>	<p>Суть методу полягає у визначенні величини зменшення товщини матеріалу при стиранні протягом заданої кількості циклів випробування або у визначенні кількості циклів дослідження стирання прошарку зносу на всю його товщину</p>

гума	<p>Опір стиранню</p> $\beta = \frac{A}{\Delta V} \cdot K$ <p>де А — робота тертя в Дж ; Зменшення об'єму гуми</p> $\Delta V = \frac{m_1 - m_2}{\rho} \text{ , см}^3$ <p>К - коефіцієнт, що враховує стираючу здатність шліфувальної шкірки</p>	<p>ДСТУ ISO 4649:2010 Гума. Визначення опору стирання методом стирання з коченням</p>	<p>Суть методу полягає в стиранні кільцевого гумового зразка, що обертається відносно покритої шліфувальною шкіркою поверхні барабана, з прослизанням і одночасним переміщенням зразка уздовж твірної барабана.</p>
		<p>ДСТУ ISO 4649:2010 гума. Метод визначення опору стиранню при ковзанні</p>	<p>Суть методу полягає в стиранні зразків, притиснутих до абразивної поверхні диска, що обертається з постійною швидкістю, при постійній нормальній силі та визначенні показників опору стиранню або стійкості.</p>
КИЛИМИ	<p>Зміна товщини проб</p> $\Delta b = b_0 - b$ <p>де <math>b_0</math> — товщина проб до стирання, мм; <math>b</math> — товщина проб після 2000 циклів стирання, мм.</p>	<p>ДСТУ EN ISO 4918:2022 визначення стійкості до стирання ворсової поверхні</p>	<p>Суть методу полягає в стиранні нетканних і тканих ворсових килимів і килимових виробів. Стійкість килима або килимового виробу до стирання характеризується зміною його товщини після заданого числа циклів стирання і кількістю циклів стирання до повного зняття ворсу або робочої (декоративної) поверхні.</p>

шкіра	<p>Опір стиранию</p> $T = \frac{K}{60 \cdot 104}$ <p><math>T</math>—приведений час стирання зразка до часу еталонного приладу (при 104 подвійних ходах в хвилину);  <math>K</math> — показник лічильника (число подвійних ходів) за весь час стирання зразка;  104 — число оборотів в хвилину (число подвійних ходів) еталонного приладу.</p>	<p>ДСТУ EN ISO 20344:2009</p> <p>Шкіра для низу взуття</p> <p>Метод випробування підошовної шкіри на опір стиранию у вологому стані</p>	<p>Метод полягає у визначенні втрати товщини зразків в результаті тертя качення під певним навантаженням. У ванну, що переміщується поворотно-поступально, поміщають стираючий матеріал в певній пропорції з водою. У ванні розміщені чотири сектори, на яких зміцнюються зразки. Притиснення секторів із зразками до дна ванни з стираючим матеріалом здійснюється вантажами. Випробування продовжують до появи на зразку крізний протертості. Час, що затрачують на стирання до крізної протертості, відмічають з точністю до 1 хв. Після цього зразки виймають, ретельно відмивають від піску, висушують, відклеюють від прокладки і заміряють товщину в тих же точках.</p>
-------	---	---	--

Підлогу не можна ізолювати від впливу середовища, в якому вона працює, від впливу процесів, які протікають в ній самій при виконанні робочих функцій, від дії залишкових явищ, що є наслідком технологічних процесів, застосованих при виготовленні матеріалів для підлог. Тому результати, отримані за стандартними методами визначення стираності, не можна використовувати для прогнозування довговічності, так як вони не враховують реальні умови стирання[31].

Таблиця 1.3.2 Методи вимірювання зношування. Класифікація [5]

Метод вимірювання		Різновиди метода
Інтегральний	Оцінка сумарного зношування	За вимірюванням маси
		За вимірюванням об'єма
	Продукти зношування	Хімічний аналіз
		Спектральний аналіз
Диференціальний	Мікометрування	За допомогою радіо-активних ізотопів
		Вимірювання розмірів
	Метод штучних баз	Профілографування
		Метод відбитку
		Метод лунок
	Метод поверхневої активації	Метод зліпка
		Активация ділянки
Вимірювання вихідних параметрів	Застосування вставок	
	Коефіцієнт тертя, температура	

Область застосування тих чи інших методів визначають:

- поставлена мета дослідження;
- необхідна точність вимірювання;
- можливість вимірювання малого зношування;
- час, необхідний для вимірювання зношування;
- можливість вимірювання зношуваності в умовах експлуатації;
- затрати часу і засобів, необхідних для всього циклу підготовки;
- здійснення і обробка результатів вимірювання.

#### 1.4 Довговічність матеріалів для підлог

Довговічність – це здатність матеріалу або виробу зберігати свої робочі властивості протягом тривалого часу в певних кліматичних та експлуатаційних умовах, а також при дотриманні встановлених правил використання. Вона характеризує властивість матеріалу підтримувати свою працездатність (з урахуванням необхідного технічного обслуговування та ремонту) до моменту досягнення граничного стану. Цей стан визначається ступенем зносу чи руйнування виробу, вимогами безпеки, а також економічною доцільністю подальшої експлуатації. Довговічність зазвичай оцінюється дозволеним

терміном служби. Одним із показників довговічності є стиранисть[33].

Стираність – це властивість матеріалу зменшуватися за масою та об'ємом під спільним впливом абразивних частинок (наприклад, кварцового піску, наждачного паперу) та механічних сил тертя. Стираність залежить від твердості матеріалу, вимірюється втратою маси з одиниці площі поверхні, що піддається стиранню, і розраховується за відповідною формулою, одиниці виміру –  $\text{кг}/\text{м}^2$ .

$$C_{\text{т.}} = (m-m)/F$$

$m$  - маса зразка відповідно до й після стирання , кг.

$F$  –площа стираної поверхні,  $\text{м}^2$  [14] .

Значення стиранисті має найбільший вплив під час вибору матеріалів для влаштування підлог, дорожніх покриттів тощо.

Зношування випробують у спеціальних барабанах з кулями за втратою маси завантаженого в прилад матеріалу.

#### **1.4.1. Причини втрати конструкцією довговічності [11]**

Зміни, що відбуваються у будь-якій конструкції з часом, призводять до зниження її функціональності або повної втрати працездатності. Ці процеси зумовлені як зовнішніми, так і внутрішніми чинниками, яким піддається об'єкт.

Під час використання конструкції на неї впливають різні форми енергії, що може спричинити зміни у властивостях окремих матеріалів, компонентів та всієї системи. При цьому виділяють три основних джерела впливів:

- вплив енергії довкілля, включаючи діяльність людини;
- власні джерела енергії об'єкта;
- накопичена (потенційна) енергія в матеріалах і елементах конструкції під час їх виробництва.

Серед основних видів енергії, що впливають на функціональність конструкції під час її експлуатації, виділяють:

Механічна енергія, яка передається на матеріали конструкції під час її функціонування, а також чинить на неї вплив у формі статичних та динамічних навантажень, що виникають внаслідок взаємодії із зовнішнім середовищем.

Сили, що діють у конструкції, залежать від особливостей робочого процесу, інерції рухомих елементів та тертя у з'єднаннях. Ці сили часто змінюються з часом і мають, як правило, складну фізичну природу. Механічна енергія в конструкції також може бути результатом енергетичних витрат, які відбулися під час виготовлення її складових частин і збереглися у них як потенційна енергія.

Теплова енергія впливає на компоненти та матеріали через зміни температури довкілля.

Хімічна енергія також впливає на властивості матеріалів та виробів. Наприклад, навіть атмосферне повітря, що містить вологу та корозійні речовини, здатне спричинити руйнування окремих елементів або конструкції в цілому через корозію.

У разі експлуатації матеріалів в агресивних умовах (наприклад, підлоги в хімічній чи текстильній промисловості) хімічні реакції спричиняють деградацію та руйнування.

Ядерна (атомна) енергія, що вивільняється під час ядерних перетворень, може змінювати властивості матеріалів.

Біологічні чинники, такі як гризуни, пліснява та бактерії, можуть пошкоджувати не лише певні типи полімерів, але й впливати на метали.

Отже, різноманітні види енергії впливають на компоненти та матеріали, ініціюючи низку небажаних процесів, що призводять до погіршення їхніх властивостей та експлуатаційних характеристик.

### **1.5 Висновки з розділу**

В даному розділі шляхом критичного аналізу літературних джерел ми охарактеризували основні етапи розвитку наукової думки і технічних рішень за темою прогнозування довговічності виробів і матеріалів за критерієм

стираності, окреслили коло розв'язаних питань, і питань якими будемо займатися в даній роботі, розглянули методологію дослідження стираності а також багато корінних питань оцінки, розрахунку і прогнозування довговічності виробів і матеріалів.

Прогнозування довговічності досліджує закономірності зміни параметрів якості виробів та матеріалів, і на підставі цих даних розробляє методи, що забезпечують необхідну тривалість та безвідмовність їх функціонування з мінімальними затратами часу і ресурсів. Ця наукова дисципліна, ґрунтуючись на прогнозі поведінки системи, розробляє теорію оптимальних рішень для забезпечення відповідного рівня надійності. До характерних особливостей проблематики довговічності належать:

- часовий фактор, оскільки здійснюється оцінка зміни початкових параметрів у процесі експлуатації виробу;
- передбачення поведінки об'єкта з позиції збереження його вихідних параметрів (показників якості).

Проблема довговічності пов'язана насамперед із прогнозуванням, оскільки констатація певного рівня надійності для виробу, що вже вичерпав свій експлуатаційний ресурс, має незначну практичну цінність. Оцінку довговічності виробу в зазначених умовах експлуатації доцільно проводити на ранніх етапах його створення – під час проектування або за наявності дослідного зразка.

В даній час в інженерній практиці як правило не застосовуються розрахунки на довговічність і надійність матеріалів для підлог за критерієм стираності, немає навіть загальної схеми такого розрахунку, а існують лише окремі види розрахунків, що являють собою по суті розрізнені етапи комплексного рішення. Розрахунок матеріалів на довговічність складний також тому, що в основі інженерної задачі по визначенню параметрів виробу чи матеріалу з урахуванням стираності лежать різноманітні по фізичній сутності і характеристиці процеси. Якщо врахувати не тільки різноманітність сучасних

будівельних матеріалів для покриття підлог, а й широкий діапазон швидкостей і навантажень, впливу зовнішнього середовища та всіх видів енергії, то пошук закономірностей протікання процесу стирання можливе тільки на основі застосування методів і засобів фізико-хімічної механіки матеріалів.

Але якими б складними не були закономірності процесу руйнування матеріалу виробу – це лише перший етап інженерних розрахунків на довговічність. Крім того повинні бути розроблені методи розрахунків на довговічність і безвідмовність різноманітних виробів і матеріалів з урахуванням характеру діючих сил і швидкостей, розмірів і конфігурації спряження, умов експлуатації, службового призначення даного виробу чи матеріалу і вимог, що висувуються до їх вихідних (кінцевих) параметрів, тобто в залежності від характеру стираючого впливу. При цьому повинна бути врахована імовірнісна природа протікаючих процесів руйнування матеріалів. Ось чому питанням розрахунку надійності і прогнозу довговічності будівельних матеріалів, зокрема матеріалів для підлог, повинна приділятися першочергова увага.

## МЕТА РОБОТИ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

**Основна мета даної роботи** – дослідження стираності матеріалів для підлог та розробка загального методологічного підходу до розв'язання питань довговічності матеріалів для покриття підлог за критерієм стираності.

### **Задачі досліджень:**

- Провести експериментальні дослідження стираності обраних матеріалів за стандартною методикою
- Розробка методологічної бази для визначення стираності на установці зворотно поступаючим рухом стираючого механізму.
- Визначити статистичні характеристики часу стирання одного шару фарби та втрати маси кожного зразка
- Отримати статистичні характеристики втрати маси цементно-піщаного розчину

**Об'єктом дослідження** є довговічність матеріалів для покриття підлог.

В межах об'єкта міститься і **предмет дослідження** – стираність матеріалів для підлог.

Методи дослідження. Експериментальне визначення стираності різними методами, прогнозування довговічності з урахуванням статистичних характеристик стираності та пошкоджуючого впливу.

Наукова новизна одержаних результатів одержані результати експериментально-теоретичної оцінки реальної стираності матеріалів для підлог та розроблена імовірнісна методика оцінювання довговічності підлог з урахуванням випадкових властивостей цих виробів та характеристик випадкового процесу зміни умов експлуатації;

Практичне значення одержаних результатів отримані залежності дадуть змогу встановити реальний час експлуатації підлог, виходячи з результатів визначення їх стираності за стандартною методикою.

## РОЗДІЛ 3

### ДОСЛІДЖЕННЯ СТИРАНОСТІ МАТЕРІАЛІВ ЗА СТАНДАРТНОЮ МЕТОДИКОЮ

*Методи дослідження:* основними методами для визначення стираності матеріалів для підлог досліджували лінолеум, фарбу та цементно-піщані плитки що проводилися за стандартними методиками дослідження. Експерименти проводилися з використанням математико-статистичних методів та комп'ютерною обробкою результатів дослідження.

#### 3.1 Характеристика випробуваних матеріалів і зразків

##### 3.1.1 Вимоги до фарб.

- зовнішній вигляд плівки – після висихання емаль повинна утворювати однорідну гладку плівку без “кратерів”, зморшок та сторонніх включень;
- умовна в'язкість – 60-130;
- міцність плівки при ударі - не менше 5(50) Дж (кгс\см);
- твердість плівки по маятниковому приборі, умовні одиниці - не менше 0,35;
- згин плівки - не більше 1мм;
- час висихання при  $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$  - не більше 15-24 годин;
- покривання висушеної плівки - не більше 100-120 г\м<sup>2</sup>;
- адгезія плівки, бали - не більше 1;
- стійкість плівки при  $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$ , год - не менше до дії: води-10, мінерального масла-24.

Властивості емалі: еластичність; твердість; щільність; водо та газо непроникність.

##### 3.1.2 Технічні вимоги до цементно піщаних плиток

Для визначення стираності натурального експерименту були виготовлені цементно-піщані плитки марки за міцністю М 75 та розміром 15×15×3 см.

Для цього ми зробили розчин, який уклали в металеві форми і потім ущільнили на віброплощині. Щоб прискорити твердіння, відформовані і розпалублені

плитки через одну добу ми пропарили в сушильній шафі тривалістю 8 годин за температури 120°C. Також виготовлені кубики розміром 7,07×7,07×7,07 см для визначення марки розчину. Розрахунок і приготування цементно-піщаного розчину проведено згідно методичним вказівкам [9].

Для визначення стираності за стандартною методикою виготовлені зразки розміром 7×7 см. Наші виготовлені плитки були розпиляні болгаркою на зразки заданих розмірів. Щоб визначити стиранність на установці із зворотно-поступальним рухом ми взяли плитки розміром 15×15×3 см.

Для того щоб визначити стираність фарбового покриття за стандартною методикою, було пофарбоване скло шарами фарби товщиною 2 мкм, 2,5 мкм і 3 мкм, а також виготовлені зразки з дерева розміром 7×7см, які пофарбували різною кількістю шарів: 1, 2, 3 і 5 шарів – для визначення стираності на кругу стирання та пофарбували дошки розміром 16×8 см, щоб визначити стираність на установці.

### **3.2 Методика експериментальних досліджень**

Для оцінки показника стираності матеріалів для підлог можуть використовуватися різні методи. Для кожного виду матеріалу є стандартна методика визначення його стираності. Ми будемо визначати стираність лінолеуму, плиток з цементно-піщаного розчину та фарбового покриття.

**Стираність плиток** проводимо визначення сухим абразивом на кругу стирання згідно ДСТУ Б В.2.7-212:2009 [17]. При цьому обов'язково дотримуємось наступних вимог і методів відбору зразків:

Проведення випробувань стираності бетону ми проводимо у віці, що відповідає досягненню проектної марки бетоном за міцністю.

Відібрані зразки для досліджень на крузі стирання мають форму куба з ребром довжиною 70 мм. Вимоги щодо точності розмірів та форми зразків та методики їх формування і зберігання приймають по ДСТУ Б В.2-7-214:2009 [18].

Зразки зазвичай випробовують серіями. Число зразків в серії має бути не менше трьох.

Маса зразків та розміри зразків визначають з похибкою не є більшою за 0,2%.

Температура повітря приміщення для проведення випробувань, має бути  $(25 \pm 10)^\circ\text{C}$ , та відносна вологість  $(50 \pm 20)\%$ .

Для визначення стираності бетонних зразків на приладі типу "круг стирання" використовують наступні устаткування і матеріали:

Круг стирання типу ЛКИ-3 (рис. 2.1)

Технічні ваги, штангенциркуль; лінійки; шліфзерно або пісок стандартний для проведення випробувань бетону згідно з ДСТУБВ.2.7-189;

Круг стирання має знімний обертальний в горизонтальній площині стираючий диск, що виготовлений з чавуну твердістю по Шору 30-50 ( $185-215 \text{ кН/см}^2$ ). На його поверхні відсутні вибоїни і заглиблення ширини ких більше 5 мм і глибина більше 0,5 мм. Швидкість обертання стираючого диска що працює під навантаженням має бути  $(30 \pm 1)$  об/хв.

Круг стирання оснащений пристосуваннями щоб вільно (у вертикальній площині) встановлювати зразки і їх навантажувати у вертикальному положенні, а також обладнаний лічильником оборотів з автоматичним вимкненням стираючого диску через проходження кожних 30 м шляху стирання.

#### **Підготовка до випробування.**

Випробування бетону на установці круг стирання проводимо на повітряно-сухих зразках, що заздалегідь були витримані не менше 2 діб у приміщенні де температура повітря  $25 \pm 10^\circ\text{C}$  та відносна вологість  $50 \pm 20 \%$ .

Стиранню підлягає нижня грань зразка. Перед випробуванням проводимо зважування зразків і вимірюємо площу поверхні, яку стираємо по методиці ДСТУ [17].

Неплощинність поверхні грані зразків, що стираємо не повинна перевищувати 0,05 мм на 100 мм довжини [17].

Сторони зразка перед випробуванням нумеруємо цифрами 1, 2 та відповідно до номерації повертаємо зразок при проведенні випробування.

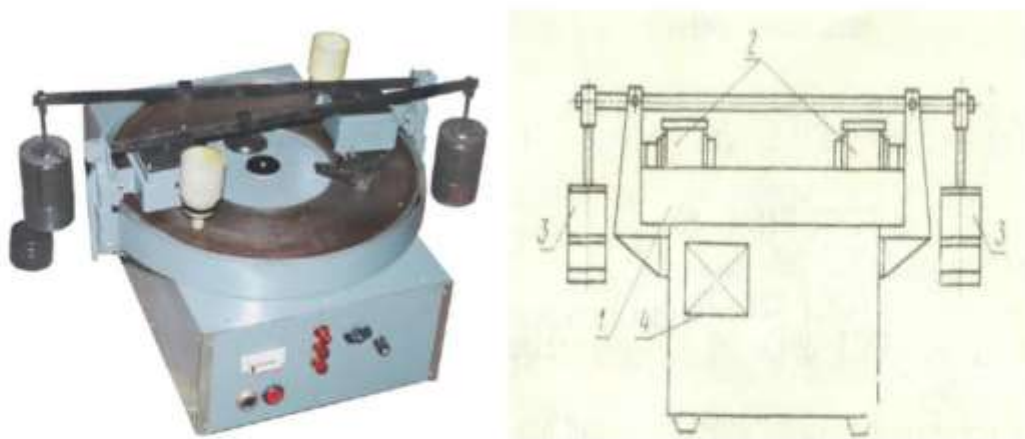


Рис.3.1 Схема круга стирання

1 - стиращий диск; 2 - випробовувані зразки; 3 - вантажі; 4 - лічильник обертів  
Розміщення зразків та навантаження.

Встановлення зразків здійснювали у передбачені отвори випробувального диска. Після їхнього розміщення перевіряли чи можливо вільно вертикально переміщувати зразки у гніздах.

До центральної частини кожного зразка прикладалося зосереджене вертикальне навантаження величиною  $300 \pm 5$  Н, що еквівалентно тиску  $60 \pm 1$  кПа.

На робочу поверхню диска рівномірно наносили початкову порцію абразивного матеріалу масою  $20 \pm 1$  г.

Процедура виконання випробувань

На випробувальній установці типу ЛКИ-3 одночасно тестували два зразки.

Після встановлення зразків у гніздах ми нанесли абразивний матеріал (шліфзерно) на диск вмикається привід диска, і розпочинається процес стирання.

Після проходження зразками кожних 30 м шляху стирання (що відповідає 28 обертам випробувального диска установки ЛКИ-3) диск зупиняється. З його поверхні видаляються залишки шліфзерна та продукти стирання. Після цього наноситься нова порція абразиву, і привід диска знову вмикається.

Зазначена операція повторюється 5 разів, що формує один цикл випробувань (загальний шлях 150 м).

По завершенні кожного циклу зразки вилучалися з гнізд та повертаються на  $90^\circ$

у горизонтальній площині (навколо вертикальної осі), після чого продовжували наступні цикли випробувань.

Загалом для кожного зразка проводилися 4 цикли випробувань, що становить загальний шлях стирання 600 м.

Після завершення кожного циклу випробувань зразки виймали з отворів. Сухі зразки очищаються сухою тканиною та зважуються.

Обробка результатів.

Стираність бетону на крузі стирання  $G_i$  в  $\text{г/см}^2$ , яка характеризується втратою маси зразка, визначаємо з похибкою до 0,1  $\text{г/см}^2$  для окремого зразка по формулі:

$$G_i = (m_1 - m_2) / F \quad (3.1)$$

де  $m_1$  - маса зразка до випробування, г;

$m_2$  - маса зразка після 1 циклу випробування, г;

$F$  - площа стираної грані зразка,  $\text{см}^2$ .

Стираність бетону серії зразків  $G_c$  визначають з похибкою до 0,1  $\text{г/см}^2$  як середнє арифметичне значення результатів визначення стираності окремих зразків серії по формулі:

$$G = \frac{\sum G_i}{n} \quad (3.2)$$

де  $n$  - число зразків в серії.

Визначаємо міцність **фарбового** покриття до стираності падаючим кварцовим піском згідно ДСТУ Б В.2.7-292:2011 [21]

**Суть методу** визначення міцності покриття падаючим кварцовим піском заключається в наступному.

Суть методу полягає у визначенні маси кварцового піску, необхідного для руйнування покриття до підкладки при падінні на нього струменя піску.

Міцність покриття до стирання визначається кількістю піску в кілограмах, віднесеного до одиниці товщини покриття в мікрометрах. Метод застосовується для покритті товщиною не більш 60 мкм.

### Обладнання і матеріали.

Для проведення випробування застосовують апарат (рис.3.2.), що складається з штатива 1, вертикально встановленої спрямовуючої трубки 2, воронки 3, майданчики 4 з кріпленням для зразка і отвором, в який вставлене матове скло, резервуару 5 для падаючого піску, поміщеного під майданчиком. Майданчик 4 розташований під кутом  $45^\circ$  до горизонталі

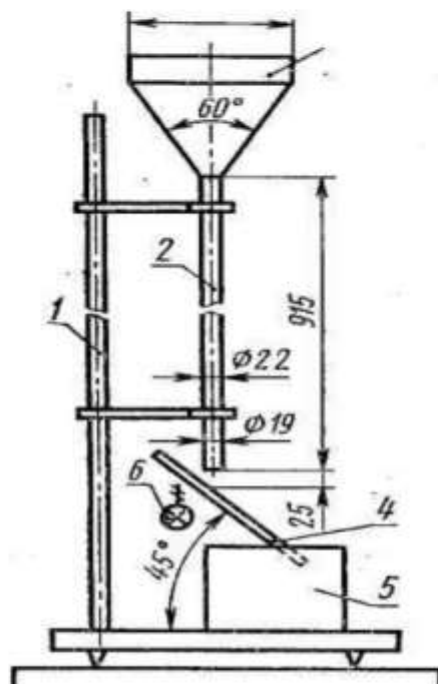


Рис. 3.2. Схема апарату Ф200

Пісок кварцовий природний. Пластинки з фотоскла розміром  $90 \times 120$  мм і завтовшки 1,2—2 мм. Прилад для вимірювання товщини покриття з погрішністю показань не вище  $\pm 4$  мкм.

#### Підготовка до випробування.

Зразки фарбового покриття одержують згідно з вимогами нормативно-технічної документації на випробовуваний матеріал.

За відсутності цих вказівок фарбове покриття завтовшки 25—30 мкм.

Покриття повинне бути рівномірним по товщині і без підтіків.

Випробуванню піддають фарбове покриття після висихання і часу витримки перед випробуванням, вказаного в нормативно-технічній документації на випробовуваний матеріал.

Перед випробуванням визначають товщину покриття.

#### **Проведення випробування.**

Випробування проводять при  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  і відносної вологості повітря  $65 \pm 5\%$ .

Перевіряють вертикальне положення спрямовуючої трубки за допомогою відвісу або іншого пристрою.

Зразок поміщають на матове скло майданчика покриттям догори і щільно прикріплюють так, щоб зразок не зсовувався під час випробування. Включають джерело світла. У воронку насипають не менше 2 кг піску, задалегідь зваженого з погрішністю не більше 0,01 кг.

З воронки пісок висипається в спрямовуючу трубку і струменем падає на зразок. Із зразка пісок зсипається в резервуар. Якщо стирання покриття до підкладки не відбулося, випробування продовжують. При цьому пісок, зібраний в резервуарі, повертають у воронку, підставляючи замість заповненого резервуару порожній. Стирання припиняють як тільки виявиться пошкодження покриття до підкладки. У цей момент струмінь піску в спрямовуючій трубці перекривають заслінкою.

Пісок, зібраний в резервуарі, зважують з погрішністю не більше 0,01 кг і записують сумарну кількість піску, витрачену на стирання від початку випробування.

Проводять не менше трьох випробувань, при цьому кожне випробування на новому місці покриття.

#### **Обробка результатів.**

Міцність покриття до стирання (X) в кг/мкм обчислюють по формулі:

$$X = \frac{m}{h} \quad (3.3)$$

де  $m$ — маса піску, витраченого на стирання, кг;  $h$  — товщина покриття, мкм.

За результат випробування приймають середнє арифметичне значення трьох визначень, відмінне від середньої величини не більш  $\pm 10\%$ .

### 3.4 Методика статистичної обробки результатів випробувань

Методика статистичної обробки випадкової величини досить детально викладена в [20], [21], а тому нижче стисло пояснені основні етапи обробки., які реалізовані в табличному процесорі EXCEL.

1. Встановлення меж вибірки, що полягає у визначенні мінімального  $X_{\min}$  та максимального  $X_{\max}$  значень показників стираності матеріалів для підлог. Для цього використовуються статистичні функції МИН(список) і МАКС(список), у яких (список) - перелік елементів вибірки, тобто значень стираності будівельних матеріалів того чи іншого виду.

2. Статистичним еквівалентом закону розподілу випадкової величини являється гістограма розподілу вибірки. Для побудови гістограми розподілу неперервної випадкової величини необхідно обрати кількість та межі інтервалів. Кількість інтервалів  $L$  встановлюється в залежності який обсяг вибірки  $N$  згідно з рекомендаціями представленими в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1.

Рекомендована кількість інтервалу у гістограмі розподілу

<b>N =</b>	10 – 40	40 - 100	100 - 300	300 - 1000	1000 - 5000
<b>L =</b>	4 – 6	5 - 8	6 – 10	8 - 15	10 - 25

Межі інтервалів визначаються на основі довжини інтервалу, яка обчислюється за формулою

$$d = (X_{\max} - X_{\min}) / L \quad (3.6)$$

Для спрощення подальших розрахунків доцільно округляти довжину інтервалу  $d$  до зручних значень. Слід врахувати, що така зміна кроку може вимагати перерахунку загальної кількості інтервалів  $L$  для повного охоплення діапазону.

Наступне після вибору кількості та меж інтервалів підраховуються кількості даних  $N_j$ , що відносяться до кожного з інтервалів, для чого можна скористатися функцією EXCEL ЧАСТОТА(список, межі\_інтервалів). Імовірності попадання даних до кожного інтервалу, або частоти даних  $P_j$  вираховують поділом на обсяг вибірки  $N$  за формулою

$$P_j = N_j / N \quad (3.7)$$

Щільність імовірності для будь-якого інтервалу визначається як результат ділення відповідної частоти  $P_j$  до довжини даного інтервалу  $d_j = X_j - X_{j-1}$  :

$$f_j = P_j / d_j = P_j / (X_j - X_{j-1}) \quad (3.8)$$

При цьому слід враховувати, що різні інтервали можуть мати не однакову довжину. Функція розподілу для кінця  $j$ -того інтервалу обчислюється, як сума частот усіх попередніх та  $j$ -того інтервалів:

$$F_j = \sum_{i=1}^j P_j \quad (3.9)$$

Якщо в деяких (зокрема, крайніх) інтервалах виявлено недостатню кількість даних, допускається їхнє об'єднання. Довжина об'єднаного інтервалу визначається як сума довжин початкових інтервалів, а кількість спостережень та їхня частота – як сума відповідних значень для інтервалів, що об'єднуються. Таке об'єднання інтервалів призводить до згладжування гістограми розподілу, що дозволяє мінімізувати вплив випадкових коливань частот, зумовлених невеликою кількістю даних. Згідно з джерелом [30], рекомендується, щоб кожен інтервал містив не менше 3-5 даних.

3. Наступним етапом статистичної обробки є визначення статистичних характеристик вибірки, до яких відносяться оцінки математичного сподівання  $M$ , стандарту  $S$  і коефіцієнту варіації  $V$ . Вказані характеристики обчислюються за формулами:

$$M = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i \quad (3.10)$$

$$S = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (X_i - M)^2} \quad (3.11)$$

$$V = S/M \quad (3.12)$$

де  $X_i$  - елемент вибірки обсягу  $N$ .

$N$  - обсяг вибірки, тобто кількість матеріалів певного виду.

Визначення середніх значень та стандартних відхилень усіх вибірок виконувалося шляхом використання функцій **СРЗНАЧ(список)** і **СТАНДОТКЛОН(список)**, наявних в табличному процесорі EXCEL.

Окрім того, в математичній статистиці можуть використовуватися коефіцієнти асиметрії та ексцесу, методика обчислення яких з необхідними робочими формулами наведена в [30], [32].

4. Для подальших операцій маємо вибирати вид теоретичного закону розподілу та визначати його параметри. Характер розподілу встановлюється на основі таких чинників:

- теоретичне або практичне обґрунтування (наприклад, нормальний розподіл виникає внаслідок сукупної дії численних випадкових чинників, тоді як розподіл Гумбеля моделює екстремальні значення випадкових величин);

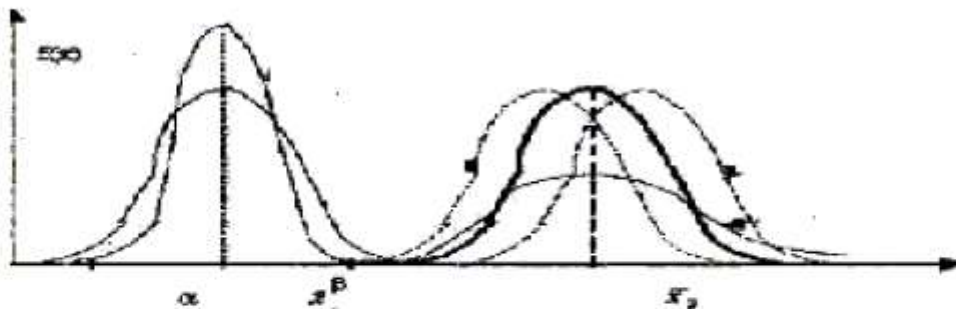
- взаємозв'язок між ключовими параметрами або статистичними показниками (наприклад, для експоненціального розподілу середнє значення ( $M$ ) приблизно дорівнює стандартному відхиленню ( $S$ )  $M \approx S$ );

- форма гістограми розподілу.

Оскільки стираність матеріалів для підлоги залежить від великої кількості випадкових факторів, то це дає можливість використовувати для опису стираності матеріалів для підлог нормальний закон розподілу, або розподілу Гауса. Густина нормального розподілу має симетричну пагорбоподібну форму і виражається формулою

де  $m$  - математичне сподівання; та  $s$  - стандарт розподілу.

$$f(x) = \frac{1}{s\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x-m)^2}{2s^2}\right] \quad (3.13)$$



Функція нормального розподілу вказує на імовірність реалізації значень випадкової величини, менших за  $X$ , і пов'язується з густиною розподілу співвідношенням:

$$F(X) = \int_{-\infty}^X f(x) dx \quad (3.14)$$

Аналітичного виразу функція нормального розподілу не має і визначається за таблицями [20], [21], в залежності від нормованого значення випадкової величини

$$t = (x - m) / s \quad (3.15)$$

Для обчислень на комп'ютері можна також скористатися відомими апроксимаціями функції нормального розподілу, або підпрограмами, що реалізують такі апроксимації.

5. Для того щоб обґрунтувати можливість застосування даного закону розподілу потрібно перевірити його відповідність дослідним даним за критеріями узгодженості, найбільш застосованим є критерій Пірсона. Згідно з описом в матеріалах [30], [32], статистика критерія Пірсона обраховується за формулою

$$\chi^2 = N \sum_{j=1}^L \frac{(P_j - p_j)^2}{P_j} \quad (3.16)$$

де  $N$  це кількість вибірки, за якою збудована гістограма розподілу;

$P_j$  - це емпірична частота (або експериментальна ймовірність) того, що випадкова величина потрапляє до  $j$ -го інтервалу, яка розраховується на основі гістограми розподілу (зазвичай, це відповідає даним 4 стовця таблиці 3).

$p_j$  - відображає теоретичну частоту (або очікувану ймовірність) того, що випадкова величина належить до  $j$ -го інтервалу.

$$p_j = F(x_j) - F(x_{j-1}) \quad (3.17)$$

Дані функції розподілу в формулі (1.14) для початку  $F(x_{j-1})$  і для кінця інтервалу  $F(x_j)$  обраховуються за вибраним законом розподілу. У випадку нормального розподілу потрібно використовувати таблицями в [30], [32] або функцією **НОРМРАСП(X, M, S)**.

Критичне значення  $\chi_{cr}^2$  встановлюється за допомогою таблиць розподілу Пірсона (джерела [15], [17]), з урахуванням двох певних параметрів. Число ступенів свободи обчислюється як кількість інтервалів у гістограмі розподілу (позначена як  $L$ ), зменшена на кількість параметрів обраної теоретичної моделі розподілу, а також на одиницю. Зокрема, для нормального розподілу, як і для низки інших, кількість ступенів свободи становить  $L - 3$ .

Рівень значимості (позначений як  $\alpha$ ) визначає ймовірність помилкового відхилення нульової гіпотези (тобто, визнання теоретичного розподілу таким, що не відповідає емпіричним даним, хоча насправді він їм відповідає). Зазвичай у статистичних дослідженнях рівень значимості встановлюють у діапазоні від 0,01 до 0,1; найпоширенішим значенням є  $\alpha = 0,05$ .

Розраховане за формулою (2.16) емпіричне значення статистики  $\chi^2$  зіставляється з критичним значенням  $\chi_{cr}^2$ , яке відповідає заданому рівню значимості та кількості ступенів свободи. У випадку, якщо  $\chi^2 \leq \chi_{cr}^2$ , емпіричне значення статистики виявляється меншим за критичне, обраний теоретичний закон розподілу не суперечить отриманим експериментальним даним, і його можна застосовувати для моделювання досліджуваної випадкової величини.

## РОЗДІЛ 4

# ДОСЛІДЖЕННЯ СТИРАНОСТІ МАТЕРІАЛІВ ПРИ ЗВОРОТНЬО-ПОСТУПАЛЬНОМУ РУХОВІ СТИРАЮЧОГО ПРИСТРОЮ

### 4.1. Постановка задач дослідження

Нам відомі методи дослідження стандартних випробувань різних матеріалів на стиранисть. Ці методи дають можливість виконати лише порівняльну оцінку між матеріалами, але не дозволяють виконати прогнозування довговічності в звичайних умовах експлуатації.

Мета нашої роботи полягає в розробленні та підборі методики прогнозування довговічності матеріалів для покриття підлог за критерієм стиранисті. Проблема полягає в тому, що реальний вплив не відповідає тому стираючому впливові, що реалізований в стандартних випробуваннях (немає абразиву, стирання відбувається іншими матеріалами, інший характер стираючих рухів та навантаження). Крім того при обробці результатів не враховується фактор часу (старіння матеріалів і зміна їх властивостей) та імовірнісний характер явищ зносу.

Ключові чинники, що визначають довговічність, здебільшого пов'язані з випадковими величинами, для аналізу яких застосовується апарат теорії ймовірностей. Тому випробування проводимо не менше ніж на 10 зразках. На основі отриманих в результаті експерименту даних отримаємо вибірку для розрахунку імовірнісних показників залишкового ресурсу конструкційних матеріалів: математичне очікування та середньоквадратичне відхилення, стандарт, гама-процентний залишковий ресурс.

Для наближення досліди проводимо на фарбі, цементному розчині.

#### 4.2. Опис установки для випробувань на стиранисть

Дослідження проводились на новій установці, ескіз якої представлений на рис.4.1.

Конструкція приладу повинна забезпечувати:

- можливість стирати матеріалами, що застосовуються при виготовленні взуття;

- характер руху стираючого механізму наближених до ходьби людей

- частоту ходу стираючого механізму, що відповідає швидкості стирання на стандартному кругу стирання: рух робочого елемента зі швидкістю 40 зворотно поступальних ходів за хвилину з амплітудою хода  $20 \pm 2$  см.

- надійне закріплення зразків на робочому столику;

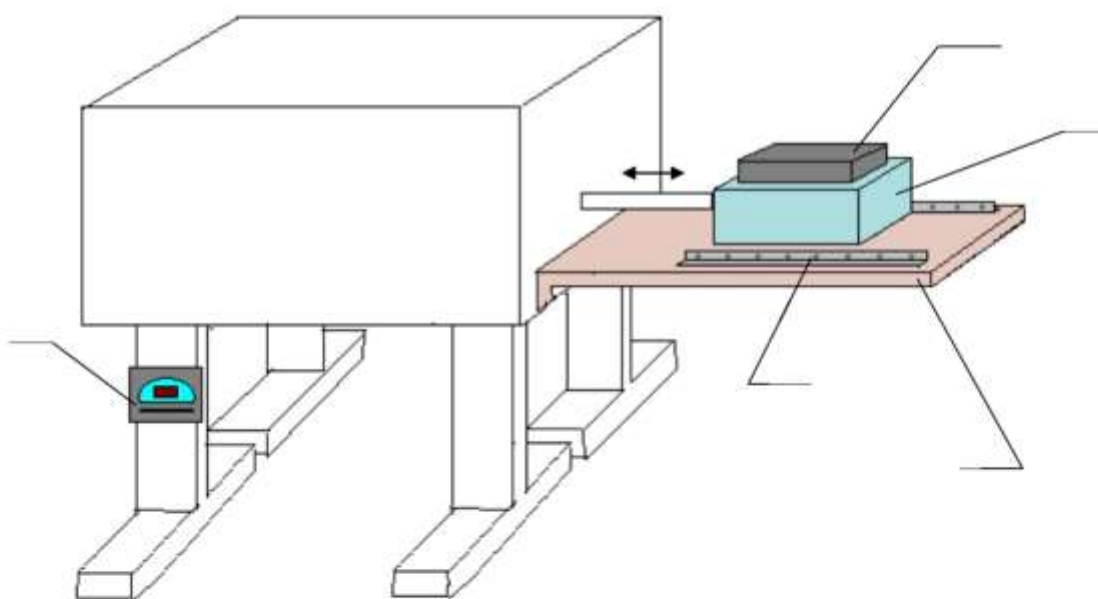


Рис.4.1. Ескіз Установки з зворотно поступальним рухом стираючого механізму

Для проведення дослідів застосовуємо апарат (див. рис.4.1), що складається із нерухомого стола 1, на якому рухомими упорами 2 за допомогою гвинтів кріпляться зразки 3, стираючого механізму 4 із гніздом для стираючого

матеріалу 5 і привантаження у формі куба 6 масою 3,6 кг, який здійснює 58 зворотно поступальних рухів за хвилину при подвійному ході 30,4 мм. Для зменшення вібрації пристрій встановлюємо на гумові підкладки, а опори привантажуємо. Для відліку подвійних ходів стираючого механізму на приладі встановлений лічильник 7.

#### **4.3. Методика експериментальних досліджень та статичної обробки результатів**

Методика експериментальних досліджень визначення стираності матеріалів із зворотно поступальним рухом.

*Суть методу* полягає у визначенні величини зменшення товщини матеріалу при стиранні протягом заданої кількості циклів випробувань або у визначенні кількості циклів випробування стирання шару зносу на всю його товщину.

##### **1. Лакофарбові матеріали**

Суть методу полягає у визначенні кількості зворотно-поступальних рухів стираючого пристрою, необхідних для стирання лакофарбового покриття до основи або до появи слідів зносу.

Зразки лакофарбових покриттів отримуємо у відповідності з вимогами нормативно-технічної документації на випробовуваний матеріал.

Якщо такі вказівки відсутні, лакофарбове покриття отримуємо товщиною 25-30 мкм.

Висота зразків, виходячи з конструкції установки, не повинна перевищувати 30 мм.

На поверхні зразків не повинно бути пор, раковин, тріщин і інших дефектів.

Кількість випробовуваних зразків повинна бути не менше 10 для отримання репрезентативної вибірки.

Для випробування беремо зразки після висихання і витримки перед

випробуванням, як це вказано в нормативно-технічній документації на випробовуваний матеріал.

Перед випробуванням визначаємо товщину покриття та оцінюємо якість поверхні.

## 2. Визначення стираності цементного розчину

Суть методу полягає у визначенні втрати маси на одиницю площі поверхні за певну кількість зворотно поступальних ходів робочого елемента.

Визначення стираності розчину слід проводити у віці, що відповідає досягненню розчином проектної марки за міцністю.

Зразки для випробувань повинні мати форму плитки розміром  $15 \times 15 \times 3$  см. Зразки випробовуємо серіями. Кількість зразків в серії повинна бути не менше 10.

Масу зразків і площу стирання визначаємо з похибкою не більше 0,2%.

Випробування проводять на повітряно-сухих зразках, попередньо витриманих не менш 2 діб в приміщенні з температурно вологими умовами по

Стиранню піддають нижню грань зразка. Перед випробуванням зразки зважують і вимірюють площу поверхні стирання.

На кожному зразку проводять 4 цикли випробувань. Після кожного циклу зразки зважують і результати записують у журнал випробувань.

Проведення досліду.

Випробування проводять при  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  та відносній вологості повітря  $65 \pm 5\%$ .

В якості стираючого матеріалу використовуємо кубик розміром  $7 \times 7$  см із матеріалу, що використовується при виготовленні підшов для взуття (поліуретан, шкіра тощо). Перед початком випробувань визначаємо масу кубика з точністю до 0,01 г.

Зразок закріплюємо на столику приладу, підтискуючи гвинтом рухомий упор. В гніздо стираючого механізму поміщуємо стираючий матеріал і привантажуємо його.

Вмикаємо установку. При зворотньо поступальному русі стираючого механізму підшва стираючого кубика рухається по поверхні зразка.

По закінченні досліду зразок виймаємо з патрона, очищуємо від продуктів зносу.

Знімаємо покази лічильника, записуємо час тривалості експерименту, при необхідності зважуємо зразки.

Обробка результатів

Стираність визначаємо за формулами:

Втрата маси

$$G_1 = \frac{m_1 - m_2}{F} \text{ г/см}^3 \quad (4.1)$$

Зносостійкість матеріалу за кількістю циклів дослідження:

$$C = \frac{C_\phi}{K} \quad (4.2)$$

Отримані результати заносимо в журнал досліджень. Подальша обробка здійснюється статистичними методами в табличному процесорі Excel.

### 2.3.2. Методика статистичної обробки даних

Основні етапи обробки, реалізованої в табличному процесорі EXCEL, зводяться до наступного:

1. Визначення розмаху вибірки, тобто найменшого  $X_{\min}$  і найбільшого  $X_{\max}$  значень маси зразків. Для цього використовуються статистичні функції **МИН(список)** і **МАКС(список)**, у яких **(список)** - перелік елементів вибірки, тобто значень маси зразків того чи іншого виду.

2. Обчислення статистичних характеристик вибірки, до яких відносяться оцінки математичного сподівання  $M$ , стандарту  $S$  і коефіцієнта варіації  $V$ . Вказані оцінки обчислюються за формулами:

$$M = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i ; \quad (4.3)$$

$$S = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (X_i - M)^2} ; \quad (4.4)$$

$$V = S/M , \quad (4.5)$$

де  $X_i$  - елемент вибірки, рівний масі окремого учня;

$N$  - обсяг вибірки, тобто кількість досліджуваних зразків. Оцінки математичних сподівань і стандартів усіх вибірок обчислювалися з використанням функцій **СРЗНАЧ(список)** і **СТАНДОТКЛОН(список)**, які наявні в табличному процесорі EXCEL і реалізують обчислення за формулами (2.3) і (2.4).

3. Побудова гістограми розподілу вибірки, яка є статистичним еквівалентом закону розподілу випадкової величини. Для цього необхідно область визначення вибірки, задану її розмахом  $X_{\max} - X_{\min}$ , розділити на декілька інтервалів. Кількість інтервалів  $L$  обирається залежно від обсягу вибірки  $N$  за рекомендаціями [5]. При 10 - 50 даних рекомендується брати 4 - 6 інтервалів; при декількох сотнях - до 10 - 15 інтервалів. Межі інтервалів обираються, враховуючи довжини інтервалу, що визначена за формулою

$$d = (X_{\max} - X_{\min})/L , \quad (4.6)$$

враховуючи зручні для наступних використань округлень. Округлення довжини інтервалу  $d$  має можливість направити до коригування їх кількості  $L$ .

Після вибору кількості та меж інтервалів підраховуються кількості даних  $N_j$ , що відносяться до кожного з інтервалів, для чого можна скористатися

функцією EXCEL **ЧАСТОТА(список, межі\_інтервалів)**. Імовірності потрапляння до кожного інтервалу, або частоти даних  $P_j$  вираховують діленням на обсяг вибірки  $N$  використовуючи формулу

$$P_j = N_j / N. \quad (4.7)$$

Густина імовірності в кожному діапазоні являється результатом поділу частоти  $P_j$  на довжину даного діапазону  $d_j = X_j - X_{j-1}$ :

$$f_j = P_j / d_j = P_j / (X_j - X_{j-1}). \quad (4.8)$$

Варто не забувати, що різні діапазони можуть мати різну довжину. Емпірична функція розподілу для кінця  $j$ -того інтервалу обчислюється, як сума частот усіх попередніх та  $j$ -того інтервалів:

$$F_j = \sum_{i=1}^j P_i. \quad (4.9)$$

Якщо в деяких (звичайно, крайніх) інтервалах виявиться мало даних, ці інтервали можна об'єднати. Довжина (розмір) об'єднаного інтервалу дорівнює сумі початкових довжин. Відповідно, обсяг даних та частота для такого інтервалу є сукупністю відповідних значень ділянок, що були згруповані. Злиття інтервалів сприяє вирівнюванню гістограми розподілу, що дозволяє уникнути впливу випадкових коливань частот, які можуть виникати за наявності невеликої кількості даних. Згідно з рекомендаціями [5], бажано, щоб кожен такий інтервал містив щонайменше 3-5 одиниць даних.

4. Вибір виду теоретичного закону розподілу та визначення його параметрів. Вид закону розподілу обирається, виходячи з фізичного обґрунтування (наприклад, нормальний розподіл є результатом впливу багатьох випадкових факторів) з урахуванням форми гістограми розподілу та співвідношення числових характеристик (1), (2), (3) (наприклад, для експоненціального розподілу  $M \approx S$ ).

Попередній аналіз даних показує, що гістограми розподілу маси зразків мають симетричний пагорбоподібний вигляд. До того ж маса кожного зразка залежить від великої кількості випадкових факторів. Це наводить на думку про можливість застосування для опису маси зразків нормального закону розподілу, або розподілу Гауса. Згідно з [5], густина нормального розподілу виражається формулою

$$f(x) = \frac{1}{S\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x-M)^2}{2S^2}\right], \quad (4.10)$$

де  $M$  і  $S$  - математичне сподівання (1) і стандарт (2) розподілу.

Функція нормального розподілу вказує на імовірність реалізації значень випадкової величини, менших за  $X$ , і пов'язується з густиною розподілу співвідношенням:

$$F(X) = \int_{-\infty}^x f(x) dx \quad (4.11)$$

Аналітичного виразу функція нормального розподілу не має і визначається за таблицями [5] в залежності від нормованого значення випадкової величини

$$t = (x - M)/S \quad (4.12)$$

Для обчислень на комп'ютері можна також скористатися статистичною функцією EXCEL **НОРМРАСП(X, M, S)**.

5. Перевірка узгодженості вибраного теоретичного закону розподілу з дослідними даними за критерієм узгодженості Пірсона. Згідно з вказівками [5], статистика критерію Пірсона обчислюється за формулою

$$\chi^2 = N \sum_{j=1}^L \frac{(p_j - P_j)^2}{P_j}, \quad (4.13)$$

де  $N$  - обсяг вибірки, за якою збудована гістограма розподілу;

$P_j$  - дослідна частота (імовірність попадання випадкової величини до  $j$ -того інтервалу), визначена при побудові гістограмою розподілу за формулою(5);

$p_j$  - теоретична імовірність попадання випадкової величини до  $j$ -того інтервалу, рівна

$$p_j = F(x_j) - F(x_{j-1}) . \quad (4.14)$$

Значення функції розподілу в формулі (12) для початку  $F(x_{j-1})$  і для кінця інтервалу  $F(x_j)$  визначаються за обраним законом розподілу. У випадку нормального розподілу слід скористатися таблицями [5] або функцією  $\text{НОРМРАСП}(X, M, S)$ .

За таблицями розподілу Пірсона [5] визначається критичне значення  $\chi^2_\alpha$  залежно від двох параметрів. Кількість ступенів свободи дорівнює кількості інтервалів в гістограмі розподілу  $L$ , зменшеній на кількість параметрів обраного теоретичного закону розподілу і ще на одиницю. Для нормального закону розподілу, як і для багатьох інших, кількість ступенів свободи дорівнює  $L-3$ . Рівень значимості  $\alpha$  встановлює імовірність відкидання правильної гіпотези (визнання невідповідним теоретичного розподілу, який на самому ділі узгоджується з дослідними даними). Як правило, в статистичних дослідженнях приймають рівень значимості в межах від 0,01 до 0,1; найчастіше -  $\alpha=0,05$ .

Обчислене за формулою (11) дослідне значення статистики  $\chi^2$  порівнюється з критичним значенням  $\chi^2_\alpha$  для заданого рівня значимості та кількості ступенів свободи. Якщо  $\chi^2 \leq \chi^2_\alpha$ , обраний закон розподілу не суперечить дослідним даним і його можна використовувати для опису досліджуваної випадкової величини.

## РОЗДІЛ 5

### АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 5.1 Результати досліджень отримані за стандартними методиками та їх статистичний аналіз

В результаті стираності цементно-піщаних плиток ми отримали ряд результатів, які наведені в таблиці 5.1

Таблиця 5.1 Результати стираності на кругу стирання.

№	Стираність цементно-піщаних плиток, г\см <sup>2</sup> , через			
	150 м	300м	450м	600м
	G <sub>1</sub>	G <sub>2</sub>	G <sub>3</sub>	G <sub>4</sub>
1	0,100966	0,309482	0,577261	0,687006
2	0,185501	0,324094	0,47548	0,654584
3	0,160428	0,300802	0,41221	0,565954
4	0,091848	0,427095	0,619977	0,732491
5	0,112245	0,328571	0,471429	0,520408
6	0,094538	0,279412	0,342437	0,422269
7	0,093777	0,277067	0,415601	0,566922
8	0,194617	0,449275	0,583851	0,724638
9	0,104478	0,253731	0,398721	0,550107
10	0,226076	0,46532	0,6036	0,759438
11	0,198294	0,479744	0,65032	0,803838
12	0,208163	0,469388	0,591837	0,728571
13	0,212185	0,472689	0,747899	0,855042
14	0,212906	0,399473	0,498244	0,610184
15	0,244306	0,509317	0,619048	0,824017
16	0,240835	0,44757	0,524297	0,720375
17	0,17437	0,262605	0,481092	0,62395
18	0,278458	0,980174	1,169526	1,401203
19	0,182735	0,338164	0,57971	0,73514
20	0,22479	0,409664	0,521008	0,710084

За цими результатами ми побудували графік з якого видно, що один зразок випадає –це можна пояснити випадковим впливом зовнішніх факторів, могли більше насипати гран відсіву. Цей зразок ми можемо викинути з нашої вибірки.

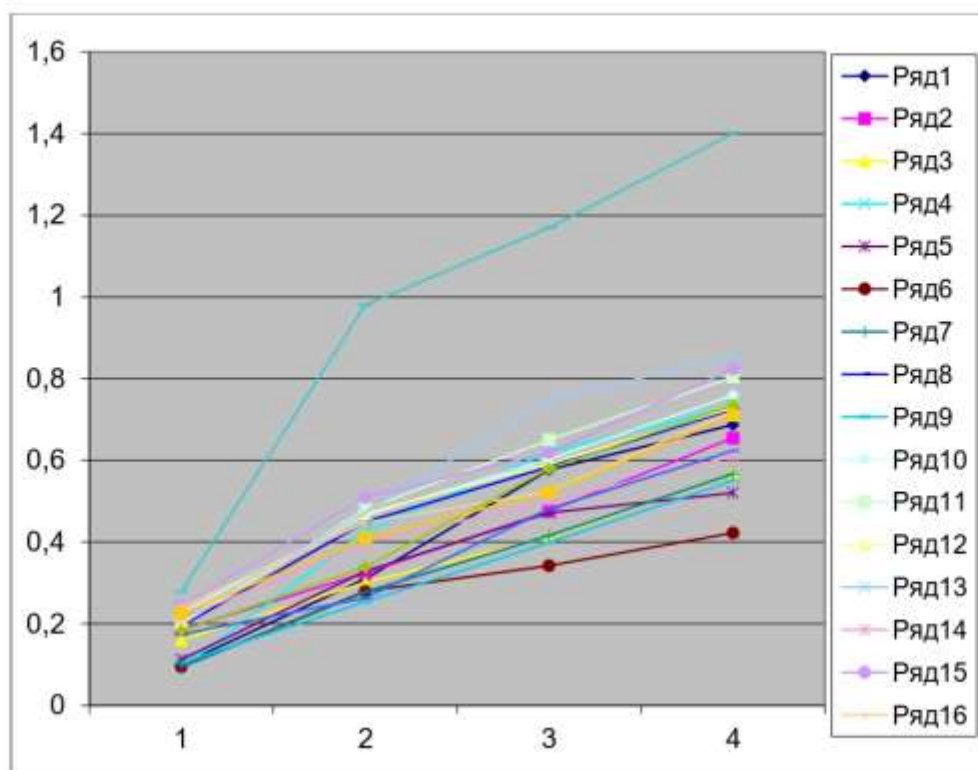


Рис.5.1. Результати стиранності цементно-піщаних плиток

За отриманими результатами ми обчислили статистичні характеристики вибірки, до яких відносяться оцінки математичного сподівання  $M$ , стандарту  $S$  і коефіцієнта варіації  $V$ . Вказані значення обчислюються за формулами (4.10), (4.11), (4.12) і результати наведені в таблиці 5.2

Таблиця 5.2. Значення статистичних характеристик випробувань за втратою маси

M	0,177076	0,409182	0,564177	0,709811
S	0,058242	0,15824	0,173167	0,196193
V	0,328911	0,386722	0,306938	0,276401

За даними табл. 5.2 побудовано графік з якого видно, що середнє значення початку зростає, а потім рівномірно зменшується. Коефіцієнт варіації майже пряма, а стандарт лінійно зменшується.

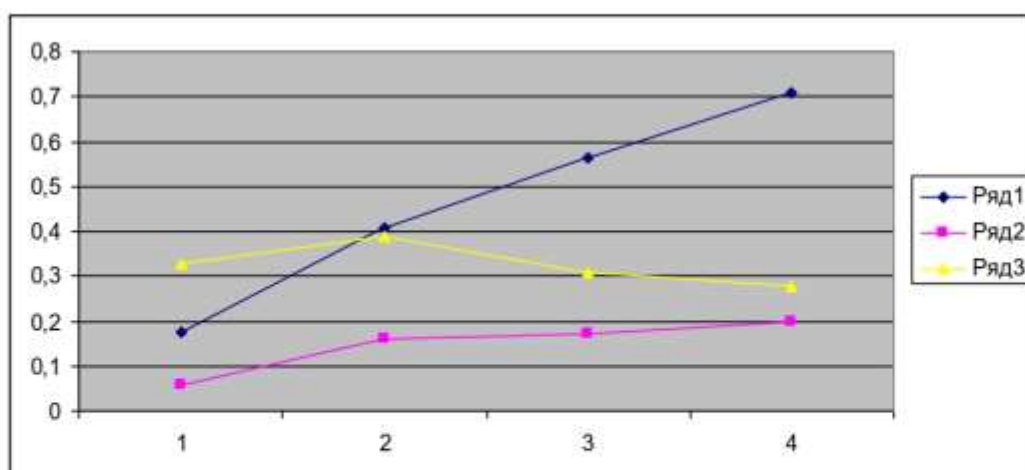


Рис.5.2. Результати статистичних характеристик випробувань за втратою маси

Обчислюємо стираність залежно від наробки – це шлях; Стираність цементно-піщаних плиток на метр шляху

Таблиця 5.3 Швидкість стираності зразків цементного розчину

№	Стираність плиток $\text{г/м}^2 \text{ м}$ , через			
	150 м	300 м	450 м	600 м
	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$
1	6,73	10,32	12,83	11,45
2	12,37	10,80	10,57	10,91
3	10,70	10,03	9,16	9,43
4	6,12	14,24	13,78	12,21
5	7,48	10,95	10,48	8,67
6	6,30	9,31	7,61	7,04
7	6,25	9,24	9,24	9,45
8	12,97	14,98	12,97	12,08
9	6,97	8,46	8,86	9,17
10	15,07	15,51	13,41	12,66
11	13,22	15,99	14,45	13,40
12	13,88	15,65	13,15	12,14
13	14,15	15,76	16,62	14,25
14	14,19	13,32	11,07	10,17
15	16,29	16,98	13,76	13,73
16	16,06	14,92	11,65	12,01
17	11,62	8,75	10,69	10,40
18	12,18	11,27	12,88	12,25
19	14,99	13,66	11,58	11,83

За даними таблиці швидкості стираності побудовано графік

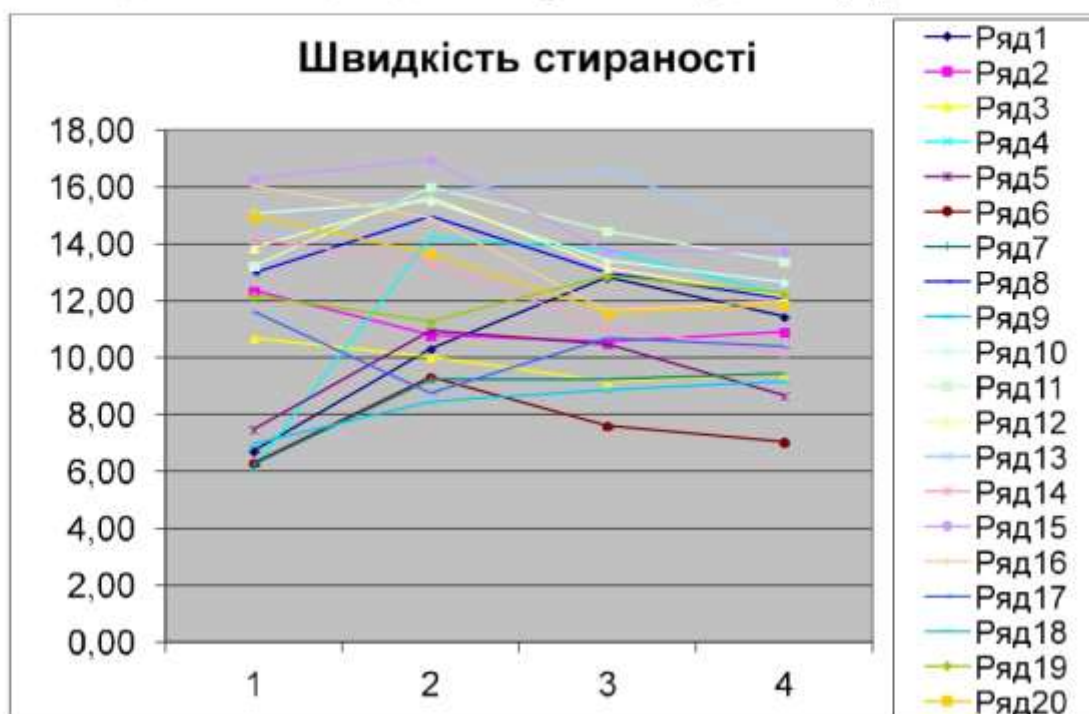
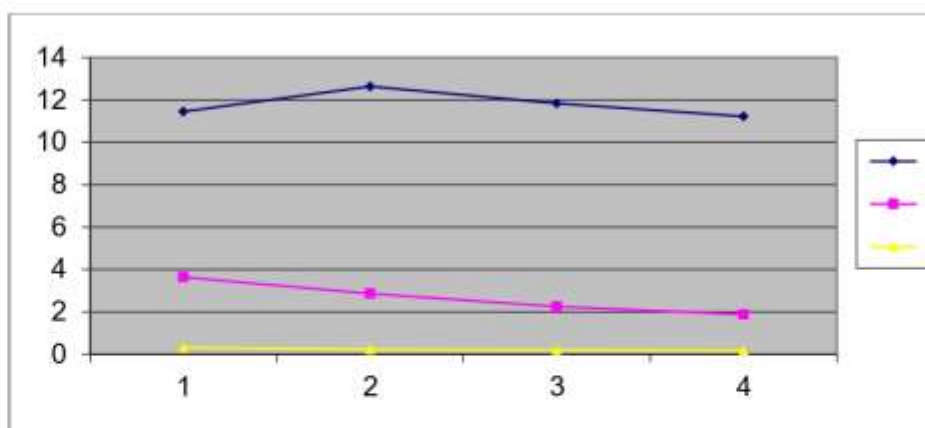


Рис.5.3. Швидкість стираності зразків цементного розчину

З рисунка видно, що швидкість стираності практично не залежить від етапу випробування. Незначне зменшення можна пояснити більш інтенсивним стиранням нерівностей зразків на початковому етапі випробувань. За даними таблиці обчисленні статистичні характеристики швидкості стираності, які наведені в таблиці. З таблиці видно, що характеристики мало змінюються в часі. Це дозволяє об'єднати усі дані таблиці в одну вибірку і обчислити загальні статистичні характеристики швидкості стираності цементного розчину: математичні сподіванн

Таблиця 5.4 Значення статистичних характеристик на метр шляху

M	11,44932	12,63766	11,82926	11,2237
S	3,639001	2,860593	2,246888	1,876423
V	0,317835	0,226355	0,189943	0,167184



За даними будемо гістограму розподілу та криву розподілу

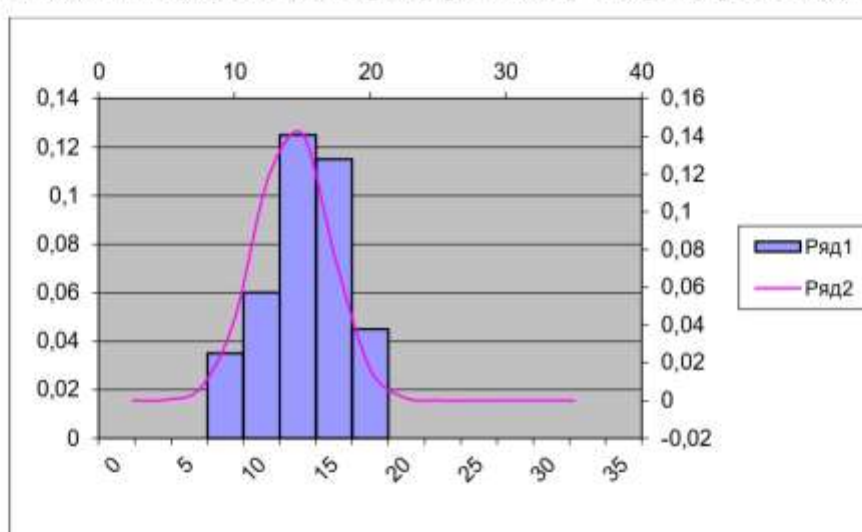


Рис.5.5. Крива нормального розподілу швидкості стираності цементного розчину

З рисунку видно, що крива нормального розподілу близька до симетричного і добре описується кривою густини нормального розподілу.

#### Обробка результатів стираності фарби.

№	h1	m1	X
1	2	70	35
2	2,25	80	35,55556
3	3	108	36

M=	35,51852
S=	0,501028
V=	0,014106

## 5.2 Результати експериментальних досліджень проведених на дослідній установці та їх аналіз

Під час випробування на стираність були досліджені 12 зразків: чотири зразки з одношаровим покриттям, чотири з двошаровим покриттям та чотири із трьома шарами фарби. Нами контролювалися такі показники стираності як час стирання кожного шару фарби та зміна маси зразка після стирання. Результати вимірювань приведені у таблиці 5.5

Таблиця 5.5 Результати стирання зразків фарби на новій установці

№ зразка	№ шару	Час для стирання одного шару, с	$m_0$ , г	$m_1$ , г	$\Delta m$ , г
1	1	90	153	152,8	0,2
	2	85			
2	1	85	152,8	152,6	0,2
	2	90			
3	1	80	60,6	60,5	0,1
4	1	85	60,5	60,4	0,1
5	1	95	47	46,9	0,1
6	1	95	46,9	46,8	0,1
7	1	85	49,7	49,5	0,2
	2	90			
8	1	88	49,5	49,3	0,2
	2	91			
9	1	91	53,2	52,9	0,3
	2	89			
	3	86			
10	1	91	52,9	52,6	0,3
	2	92			
	3	90			
11	1	85	74,9	74,6	0,3
	2	90			
	3	90			
12	1	85	74,6	74,3	0,3
	2	91			
	3	86			

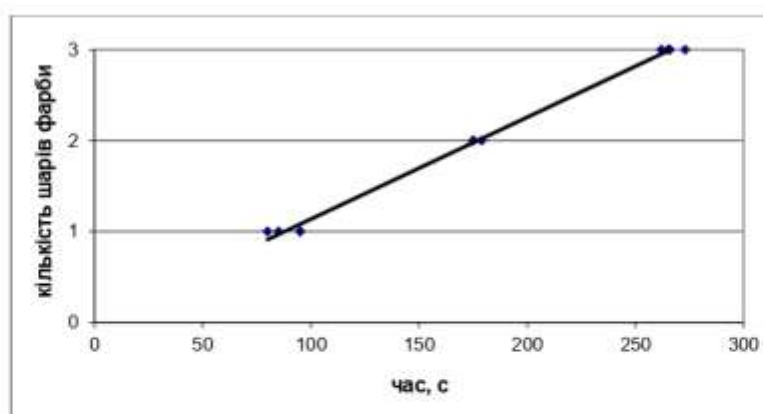


Рис.5.8. Залежність часу стирання зразків від кількості шарів фарби

Як видно з рис.5.8, залежність часу стирання від кількості шарів фарби – лінійна функція, тобто час, який затрачується на стирання фарби прямо пропорційний кількості її шарів.

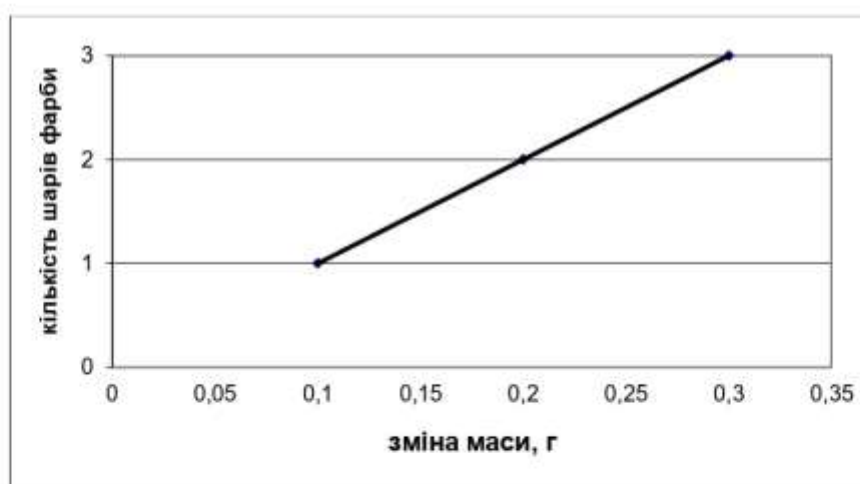


Рис.5.9. Залежність зміни маси від кількості шарів фарби

Зміна маси також лінійно залежить від кількості шарів: втрата маси зразка збільшується прямопропорційно кількості стертих шарів фарби.

За даними таблиці, використовуючи формули (4.3), (4.4) та (4.5) обчислюємо статистичні характеристики часу стирання одного шару фарби та втрати маси кожного зразка (табл.5.6).

Таблиця 5.6 Статистичні характеристики часу стирання одного шару фарби та втрати маси кожного зразка

	Час для стирання одного шару	Втрата маси одного зразка
Стандарт	3,537583	0,08528
Середнє значення	88,58333	0,2
Коефіцієнт варіації	0,039935	0,426401

Побудуємо гістограму розподілу, щоб оцінити форму густини розподілу випадкової величини (часу стирання одного шару фарби) та підібрати закон розподілу, що дасть можливість визначити розподіл наробки до відмови, а отже – прогнозувати довговічність.

За формулами (4.6), (4.7), (4.8) та даними таблиці 5.1 обчислюємо довжину інтервалу, імовірність попадання даних в інтервал та густину розподілу випадкових величин для побудови гістограми розподілу. Вся область визначення розбивається на декілька інтервалів. Кількість інтервалів залежить від обсягу вибірки  $N$ . При  $N$  до 20 вона становить 4-5, при  $N < 100$  кількість інтервалів 8-12, якщо  $N$  має дуже велике значення, то кількість інтервалів від 20 до 30, а інколи і 50. В один інтервал повинно попадати не менше 3-5 чисел. Якщо в сусідні інтервали попадає мало даних (менше трьох), їх можна об'єднати в один. Якщо гістограма „нерівна”, потрібно зменшити кількість інтервалів або збільшити кількість даних.

Результати обчислень для часу стирання одного шару фарби приведені в таблиці 5.7.

Таблиця 5.7 Статистичні характеристики для побудови гістограми розподілу часу стирання одного шару фарби

Розмах вибірки		Інтервал	Кількість даних, що попали в інтервал $p_j$	Ймовірність попадання в інтервал $P_j$	Густина розподілу $f_j$
$X_{\min},$ с	$X_{\max},$ с				
80	95	77			
		80	1	0,041667	0,013889
		85	5	0,208333	0,041667
		88	4	0,166667	0,055556
		90	7	0,291667	0,145833
		92	5	0,208333	0,104167
		96	2	0,083333	0,020833
Обсяг вибірки N			24		



Рис.5.8. Гістограма розподілу часу стирання одного шару фарби

Як видно з рис.5.8, форма густини розподілу відповідає нормальному закону розподілу, закону Гауса, що описується формулою (4.10).

При дослідженні на стиранисть цементно-піщаного розчину були випробувані 16 зразків. Через кожні 150м шляху або 3,8 хв часу стирання, що відповідає одному циклу стирання на стандартній установці, ми визначали масу зразків. Результати вимірювань занесені до таблиці 5.8.

Таблиця 5.8 Результати стирання зразків цементно-піщаного розчину на новій установці

№ зразка	Шлях стирання, м				
	0	150	300	450	600
	Значення маси, г				
	$m_0$	$m_1$	$m_2$	$m_3$	$m_4$
1	1239,2	1238,7	1238,5	1238,2	1237,7
2	1329,7	1328	1326,9	1326,1	1325,2
3	1399,7	1399	1398,1	1397,4	1396,8
4	1186	1185,4	1184,5	1184,2	1183,7
5	1484,9	1484	1483,4	1482,9	1482,6
6	1251,5	1251,1	1250,9	1249,9	1248,9
7	1313,5	1313	1312,5	1311,3	1310,5
8	1325,8	1325	1324,3	1323,5	1323
9	1386,4	1385,5	1384,7	1384,1	1383,5
10	1290	1289,1	1288,3	1287,8	1287,3
11	1415,3	1414,3	1413,5	1412,9	1412,1
12	1300	1299	1298,3	1297,7	1297,3
13	1344,7	1344	1343,3	1342,7	1342,2
14	1350,2	1349,9	1349,1	1348,6	1348,1
15	1412	1411,2	1410,4	1410	1409,6
16	1314	1313	1312	1311,4	1310,7

У таблиці 5.9 приведені результати обчислень зміни маси після кожного циклу випробувань.

Таблиця 5.9 Втрата маси за один цикл при стиранні зразків цементно-піщаного розчину на новій установці

№ зразка	$m_0-m_1$	$m_1-m_2$	$m_2-m_3$	$m_3-m_4$
1	0,5	0,2	0,3	0,5
2	1,7	1,1	0,8	0,9
3	0,7	0,9	0,7	0,6
4	0,6	0,9	0,3	0,5
5	0,9	0,6	0,5	0,3
6	0,4	0,2	1	1
7	0,5	0,5	1,2	0,8
8	0,8	0,7	0,8	0,5
9	0,9	0,8	0,6	0,6
10	0,9	0,8	0,5	0,5
11	1	0,8	0,6	0,8
12	1	0,7	0,6	0,4
13	0,7	0,7	0,6	0,5
14	0,3	0,8	0,5	0,5
15	0,8	0,8	0,4	0,4
16	1	1	0,6	0,7

Таблиця 5.10 Статистичні характеристики втрати маси цементно-піщаного розчину за один цикл випробувань

Середнє значення	0,763	0,637	0,700	0,638
Стандарт	0,414	0,329	0,321	0,239
Коефіцієнт варіації	0,543	0,516	0,458	0,374

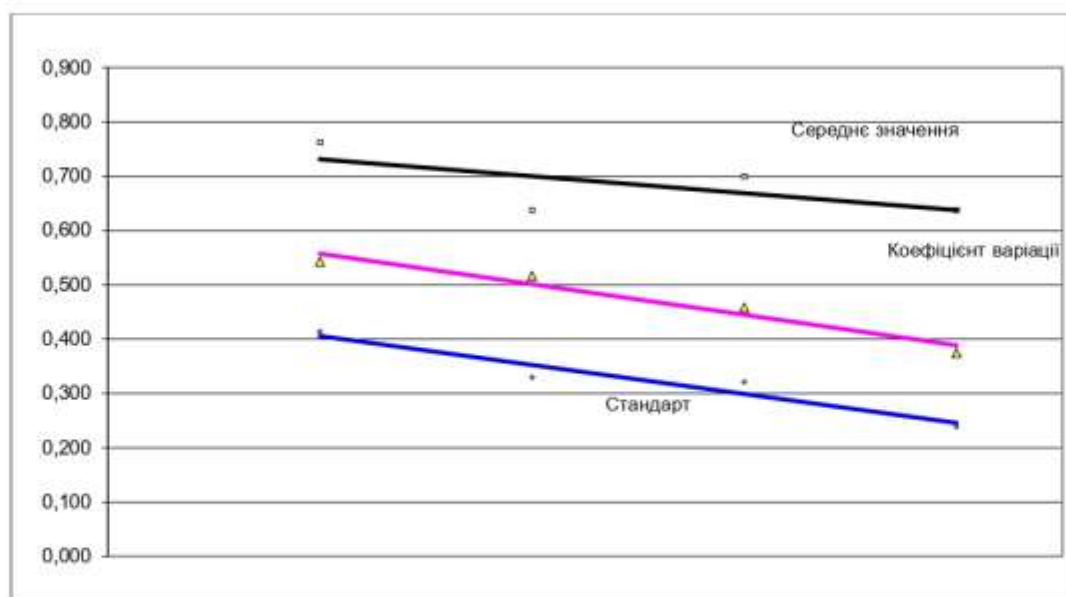


Рис.5.9. Статистичні характеристики втрати маси цементно-піщаного розчину за один цикл стирання

З рисунка 5.9 ми бачимо, що числові характеристики випадкової величини втрати маси зразків зменшуються після кожного циклу. Це свідчить про зменшення розкиду даних, стабілізацію процесу тертя.

Виходячи з наведених вище міркувань, побудуємо гістограму розподілу зміни маси за один цикл стирання. Результати необхідних розрахунків приведені в таблиці 5.11.

Таблиця 5.11 Статистичні характеристики втрати маси за один цикл цементно-піщаного розчину для побудови гістограми розподілу

Розмах вибірки		Інтервал	Кількість даних, що попали в інтервал $n_j$	Ймовірність попадання в інтервал $P_j$	Густина розподілу $f_j$
$X_{\min},$ г	$X_{\max},$ г				
0,2	1,7	0,10	6	0,094	0,375
		0,35	23	0,359	1,4375

	0,65	20	0,313	1,25
	0,85	13	0,203	0,8125
	1,10	1	0,016	0,0625
	1,35	0	0,000	0
	1,60	1	0,016	0,0625
	1,85			
Обсяг вибірки N		64		



Рис.5.10 Гістограма розподілу зміни маси за один цикл стирання

Таблиця 5.12 Втрати маси зразків цементно-піщаного розчину при стиранні

№ зразка	Шлях стирання, м			
	150	300	450	600
	Втрата маси, г			
	$m_0 - m_1$	$m_0 - m_2$	$m_0 - m_3$	$m_0 - m_4$
1	0,5	0,7	1	1,5
2	1,7	2,8	3,6	4,5
3	0,7	1,6	2,3	2,9
4	0,6	1,5	1,8	2,3
5	0,9	1,5	2	2,3
6	0,4	0,6	1,6	2,6
7	0,5	1	2,2	3
8	0,8	1,5	2,3	2,8
9	0,9	1,7	2,3	2,9
10	0,9	1,7	2,2	2,7
11	1	1,8	2,4	3,2
12	1	1,7	2,3	2,7
13	0,7	1,4	2	2,5
14	0,3	1,1	1,6	2,1
15	0,8	1,6	2	2,4
16	1	2	2,6	3,3

Щоб прослідкувати за зміною маси в процесі стирання, із таблиці 5.12 беремо значення зміни маси двох будь-яких зразків і будуємо графік залежності втрати маси зразків цементно-піщаного розчину при стиранні від шляху стирання (рис.5.11).

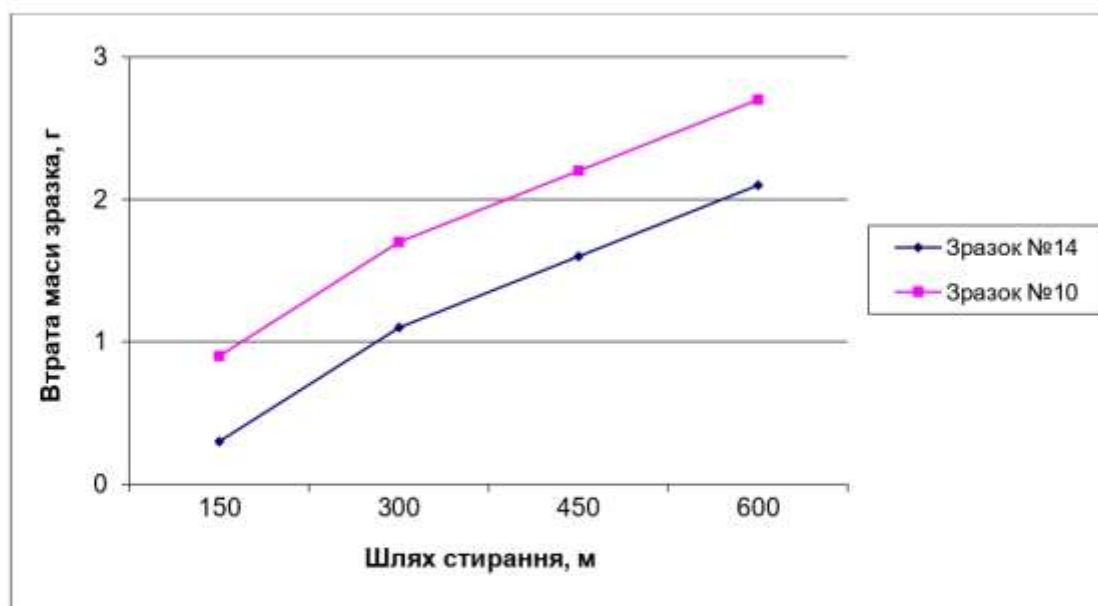


Рис.5.11 Залежність втрати маси зразків цементно-піщаного розчину при стиранні від шляху стирання

На рисунку 5.11 видно, що інтенсивність процесу зношування на початку вища, а потім швидкість стираності стабілізується. Це є наслідком того, що реальні поверхні мають складний рельєф, що характеризується шорсткістю і хвилястістю. При виготовленні зразків, після вібрування на вібростолику, на їх поверхні виділявся надлишок води шаром висотою 0,5-0,7мм; при твердінні поверхневий шар зразків був більш насичений водою, ніж основна маса і тому його міцність значно менша, що підвищує стираність. Ось чому втрата маси цементно-піщаних зразків після першого циклу випробувань більша, ніж після інших.

Для визначення стираності цементно-піщаного розчину знайдемо площу стирання. В таблиці 5.6 приведені результати вимірювань стертих ділянок та обчислень їх площ.



Продовження таблиці 5.14

0,00473	0,00473	0,01135	0,00757
0,00752	0,00658	0,00752	0,00470
0,00846	0,00752	0,00564	0,00564
0,00846	0,00752	0,00470	0,00470
0,00940	0,00752	0,00564	0,00752
0,00940	0,00658	0,00564	0,00376
0,00658	0,00658	0,00564	0,00470
0,00282	0,00752	0,00470	0,00470
0,00752	0,00752	0,00376	0,00376
0,00940	0,00940	0,00564	0,00658

Для порівняння інтенсивності стирання визначимо статистичні характеристики стираності цементно-піщаного розчину (табл.5.15)

Таблиця 5.15 Статистичні характеристики стираності цементно-піщаного розчину

Середнє значення	0,007	0,006	0,007	0,006
Стандарт	0,004	0,003	0,003	0,002
Коефіцієнт варіації	0,541	0,515	0,459	0,373

За отриманими даними будемо графіки які наочно характеризують зміну статистичних характеристик після проведення кожного циклу випробувань (рис.5.4.6)

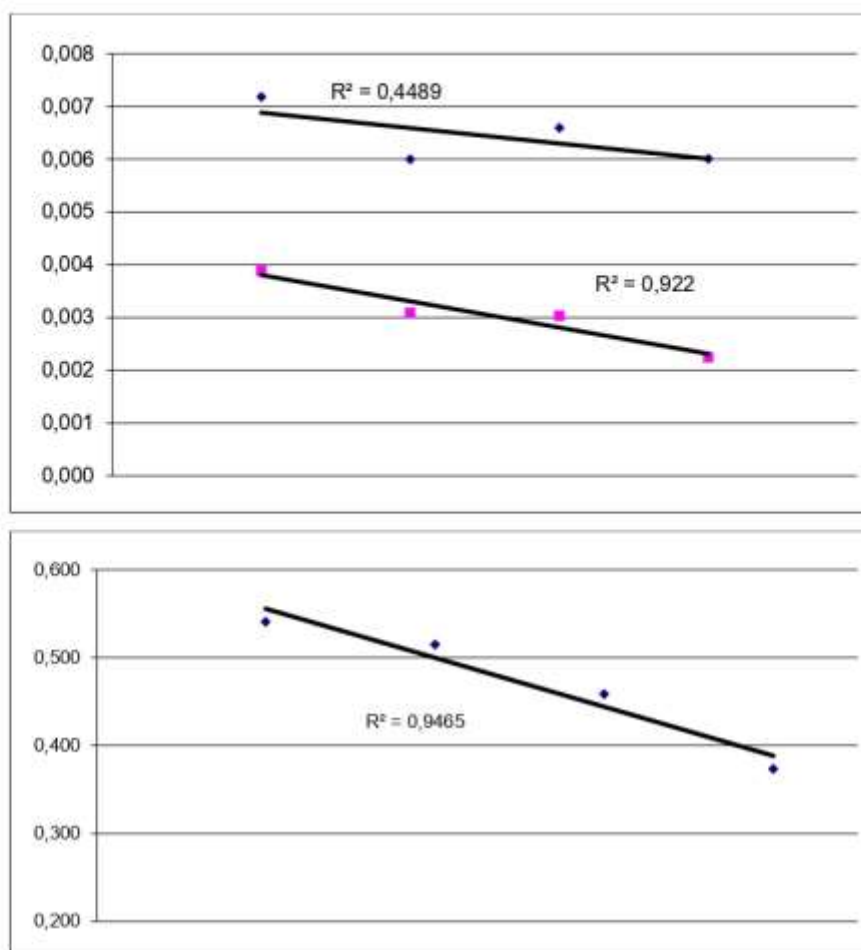


Рис. 5.4.6. Статистичні характеристики стираності цементно-піщаного розчину. Аналіз графіків на рис.5.4.6 повністю підтверджує висновки, зроблені для графіків на рис.5.4.5.

Для побудови гістограми розподілу стираності (рис.2.4.7) обчислимо відповідні статистичні характеристики (табл. 5.16)

Таблиця 5.16 Статистичні характеристики стираності цементно-піщаного розчину за один цикл для побудови гістограми розподілу

Розмах вибірки		Інтервал	Кількість даних, що попали в інтервал $\eta_j$	Ймовірність попадання в інтервал $P_j$	Густина розподілу $f_j$
Xmin, г/м <sup>2</sup>	Xmax, г/м <sup>2</sup>				
0,00188	0,01598	0,0018	10	0,1563	66,5
		0,0041			

		21	0,3281	139,65
	0,0065	24	0,3750	159,6
	0,0088	7	0,1094	46,55
	0,0112	2	0,0313	4,43
	0,0182			
Обсяг вибірки N		64		

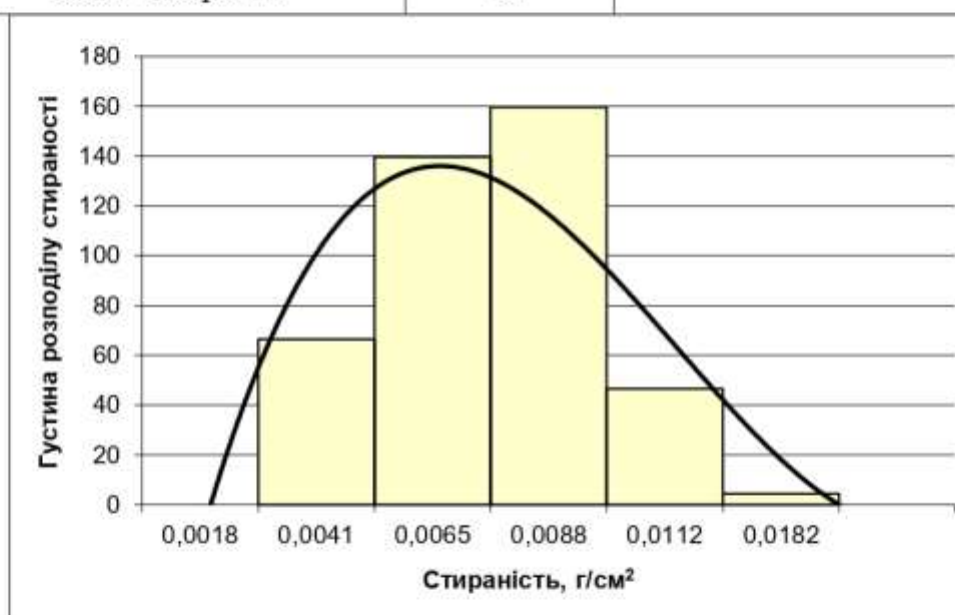


Рис.2.4.7. Гістограма розподілу стираності цементно-піщаного розчину

Обчислимо швидкість стирання цементно-піщаного розчину, тобто стираність віднесена до шляху стирання (табл.5.17).

Таблиця 5.17 Швидкість стирання цементно-піщаного розчину

$v_1$	$v_2$	$v_3$	$v_4$
0,31746	0,126984	0,190476	0,31746
1,093951	0,707851	0,514801	0,579151

Продовження таблиці 5.17

0,438596	0,56391	0,438596	0,37594
0,37594	0,56391	0,18797	0,313283
0,56391	0,37594	0,313283	0,18797
0,250627	0,125313	0,626566	0,626566
0,315358	0,315358	0,756859	0,504573
0,501253	0,438596	0,501253	0,313283
0,56391	0,501253	0,37594	0,37594
0,56391	0,501253	0,313283	0,313283
0,626566	0,501253	0,37594	0,501253
0,626566	0,438596	0,37594	0,250627
0,438596	0,438596	0,37594	0,313283
0,18797	0,501253	0,313283	0,313283
0,501253	0,501253	0,250627	0,250627
0,626566	0,626566	0,37594	0,438596

Таблиця 5.18 Статистичні характеристики швидкості стирання цементно-піщаного розчину

Середнє значення	0,482	0,402	0,441	0,402
Стандарт	0,268	0,210	0,202	0,152
Коефіцієнт варіації	0,556	0,521	0,458	0,378

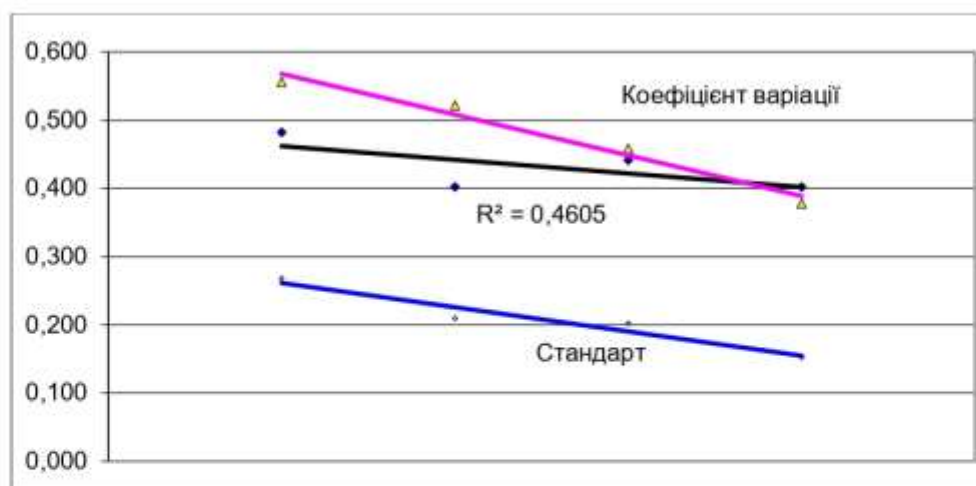


Рис.2.4.1. Статистичні характеристики швидкості стирання цементно-піщаного розчину

Таблиця 5.19 Статистичні характеристики швидкості стирання цементно-піщаного розчину для побудови гістограми розподілу

Розмах вибірки		Інтервал	Кількість даних, що попали в інтервал $n_j$	Ймовірність попадання в інтервал $P_j$	Густина розподілу $f_j$
$X_{\min}$ , г/м <sup>3</sup>	$X_{\max}$ , г/м <sup>3</sup>				
0,1253	1,0652	0,12	10	0,1563	0,9975
		0,28	21	0,3281	2,09475
		0,43	24	0,3750	2,394
		0,59			
		0,75	7	0,1094	0,69825

		1	0,0156	0,09975
	0,90			
	1,12	1	0,0156	0,072074
Обсяг вибірки N		64		

За даними таблиці 2.10 будемо гістограму розподілу, що відображає форму густини розподілу випадкової величини.

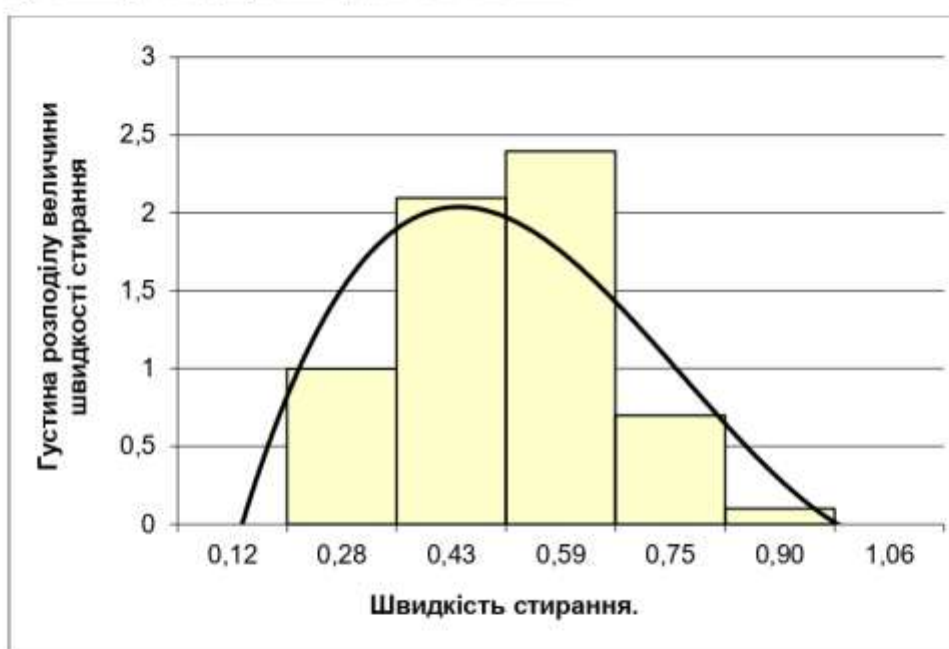


Рис. 2.4.7. Гістограма розподілу швидкості стирання цементно-піщаного розчину

## РОЗДІЛ 6

### ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ

#### 6.1 Класифікація приміщень за рівнем електробезпеки

Згідно з вимогами електробезпеки, виробничі приміщення класифікуються на три основні категорії:

Приміщення без підвищеного ризику.

Характеризуються як сухі приміщення, де підлога не проводить електричний струм, рівень вологості не перевищує 60%, відсутній електропровідний пил або присутній лише непровідний пил, а температура навколишнього середовища не перевищує 30°C. Крім того, в таких умовах виключена ймовірність одночасного контакту людини з корпусом електрообладнання та металевими конструкціями, що мають заземлення.

Приміщення підвищеної небезпеки.

Визначаються наявністю однієї з наступних п'яти характеристик: відносна вологість перевищує 75%, присутність електропровідного пилу, електропровідна поверхня підлоги, температура повітря вище +35°C, або існує можливість одночасного дотику до заземлених металевих об'єктів та корпусу електроустановки.

Приміщення особливої небезпеки.

Включають ті, що характеризуються наступним: відносна вологість може досягати 100%; наявність агресивного хімічного середовища, яке здатне пошкоджувати електроізоляцію; або поєднанням двох або більше факторів, типових для приміщень підвищеної небезпеки.

Щодо допустимої напруги, у приміщеннях підвищеної небезпеки для переносних світильників, систем місцевого освітлення виробничого обладнання та ручного електрифікованого інструменту максимальна напруга становить 42 В, тоді як в особливо небезпечних приміщеннях цей показник обмежується 12 В.

## 6.2 Організація безпечної експлуатації електроустановок

Роботи на діючих електроустановках, з урахуванням вимог безпеки, поділяються на три основні категорії:

- з повним відключенням напруги;
- без відключення напруги на струмопровідних частинах або поблизу них (на відстані менше 6 метрів);
- без відключення напруги на значній відстані від струмопровідних елементів, що перебувають під живленням.

Під час виконання робіт як із відключенням напруги, так і без її відключення (особливо на струмопровідних частинах та поблизу них), обов'язково мають бути реалізовані організаційні та технічні заходи безпеки. Одним із ключових організаційних заходів є оформлення наряду-допуску. Це офіційний документ, що чітко визначає завдання для безпечного виконання робіт, оформлений на спеціальному бланку затвердженої форми. Він містить інформацію про зміст, місце, терміни (початок і завершення), умови виконання роботи, склад робочої бригади та осіб, відповідальних за безпечне проведення робіт.

Першочерговим завданням при організації безпечної експлуатації електроустановок є забезпечення їх обслуговування кваліфікованим персоналом. Весь персонал, що працює з електроустановками, розподіляється на п'ять груп з електробезпеки.

I група. Присвоюється особам, які не мають спеціальної електротехнічної підготовки, але володіють базовими уявленнями про небезпеку ураження електричним струмом та про елементарні заходи електробезпеки під час роботи на своїй ділянці або з електроустановкою. Для I групи досвід роботи з електроустановками не регламентується.

II група. Працівники цієї групи повинні мати базові технічні знання про електроустановки, чітко усвідомлювати небезпеку ураження електричним струмом, ризики при наближенні до струмопровідних частин. Вони зобов'язані знати основні заходи безпеки при роботі з електроустановками та вміти надавати першу домедичну допомогу.

III група. Особи, що належать до цієї групи, повинні: знати будову електроустановок та вміти їх обслуговувати; розуміти небезпеки, що виникають під час обслуговування електроустановок; знати загальні правила безпеки праці, правила допуску до роботи в електроустановках напругою до 1000 В, а також спеціальні правила безпеки для тих видів робіт, що входять до їхніх обов'язків; вміти контролювати інших працівників, що працюють з електроустановками, та надавати першу домедичну допомогу.

IV група. Працівники цієї групи зобов'язані: мати знання з електротехніки на рівні спеціалізованого професійно-технічного училища; мати повне розуміння небезпек під час роботи на електроустановках; досконало знати Правила технічної експлуатації (ПТЕ), Правила улаштування електроустановок (ПУЕ) та Правила безпечної експлуатації (ПБЕ); знати установку настільки добре, щоб вільно визначати, які саме елементи необхідно відключити для безпечного виконання робіт, тощо.

V група. Особи цієї групи повинні: досконало знати всі схеми та електричне обладнання своєї ділянки; знати загальні та спеціальні розділи ПУЕ, ПТЕ та ПБЕ; вміти організовувати безпечне виконання робіт та здійснювати нагляд за електроустановками будь-якої напруги; навчати персонал інших груп правилам безпеки праці; вміти надавати першу домедичну допомогу.

### **6.3 Технічні засоби безпечної експлуатації електроустановок при нормальному режимі роботи**

Ураження людини електричним струмом виникає лише за умови, що вона стає частиною замкненого електричного ланцюга, тобто одночасно торкається

двох точок електромережі, між якими існує різниця електричних потенціалів. У такій ситуації рівень небезпеки ураження людини залежить від напруги мережі, типу заземлення її нейтралі, якості ізоляції струмопровідних елементів від землі та інших факторів.

Залежно від режиму функціонування електричні мережі розрізняють на мережі постійного та змінного струму (однофазні та багатофазні). Багатофазні мережі включають трифазні мережі з ізольованою нейтраллю та з глухозаземленою нейтраллю.

Ізольована нейтраль – це нейтральна точка генератора або трансформатора, що відокремлена від заземлювального контуру або підключена до нього через пристрої з високим опором.

Глухозаземлена нейтраль – це нейтральна точка генератора або трансформатора, яка надійно з'єднана із землею за допомогою заземлювача.

Електрична ізоляція – це шар діелектричного матеріалу або конструкція з діелектрика, яка покриває поверхню струмопровідних елементів або розділяє їх між собою. Стан ізоляції визначається її електричною міцністю, діелектричними втратами та електричним опором. Для запобігання пошкодженню ізоляції необхідно проводити її періодичний та безперервний контроль. Періодичний контроль включає вимірювання активного опору ізоляції у регламентовані терміни (раз на три роки), а також при виявленні будь-яких дефектів. Опір ізоляції силових та освітлювальних електричних проводів розраховується з норми  $1 \text{ кОм/В}$  і повинен становити не менше  $0,5 \text{ МОм}$ .

Електрична ізоляція класифікується на:

Робочу – базовий вид ізоляції, що забезпечує нормальне функціонування електроустановки та захист від ураження струмом.

Додаткову – призначена для захисту від ураження струмом у випадку пошкодження робочої ізоляції.

Подвійну – складається з робочої та додаткової ізоляції.

Посилену – покращена робоча ізоляція, що надає такий самий рівень захисту від

ураження струмом, як і подвійна ізоляція.

Для забезпечення недоступності випадкового дотику до струмопровідного обладнання використовують такі методи:

Огороджувальні пристрої (суцільні та сітчасті) – призначені для обмеження доступу людей до електроустановок.

Блокувальні пристрої – запобігають неправильним діям персоналу під час роботи з електроустановками. Вони, як правило, дозволяють виконання операцій у суворій послідовності (ввімкнення/вимкнення), унеможливаючи тим самим потрапляння людини до зони потенційного контакту зі струмопровідними частинами.

Розміщення струмопровідних елементів на недосяжній висоті або у важкодоступному місці – цей метод гарантує безпеку без необхідності використання огорожень чи блокувань.

Мала напруга – це напруга до 42 В, яка за звичайних умов не створює небезпечного електричного впливу на людину; її застосовують у переносних світильниках, аварійному освітленні, ручному електроінструменті та інше.

Вирівнювання потенціалів – це спосіб зменшення різниці потенціалів при дотику та кроці між точками електричного ланцюга, до яких можливий одночасний дотик або на яких одночасно може стояти людина. Це досягається штучним підвищенням потенціалу поверхні, на якій стоїть людина, до рівня потенціалу струмопровідних частин, або за допомогою контурного заземлення.

Захисне розділення мереж – це поділ електромережі на окремі електрично не пов'язані між собою сегменти за допомогою розділювальних трансформаторів.

## 6.4 Інженерні рішення з техніки безпеки у цеху

### 6.4.1 Визначення можливе зростання продуктивності праці

На робітника впродовж зміни діють чотири біологічно не безпечних фактори:

1. Ефективно-еквівалентна адаптивна температура повітря на робочому місці в теплий період року  $t=26^{\circ}\text{C}$  ( $T=480$  хв);
2. Промисловий пил (наявність і кратність перевищення ГДК) ( $T=360$  хв);
3. Вібрація (наявність плюс кількість децибел, що перевищують ГДР, дБ) ( $\text{ГДК}+9$ ;  $T=300$  хв )
4. Хімічні речовини (наявність і кратність перевищення ГДК) ( $T=480$  хв).

У результаті проведення профілактичних заходів оцінка умов праці підвищиться на один бал. Визначити можливе зростання продуктивності праці.

Фактори	Максимальна оцінка фактора, бал	Фактична тривалість дії фактора, хв	Фактична оцінка важкості, бал
1	3	480	3
2	2	Не впливає	Не впливає
3	5	300	3.125
4	4	480	4

$$X_{i,\phi} = X_i \times \frac{t}{t_{зм}} \quad (6.1)$$

Визначення інтегральної бальної оцінки важкості праці до проведення профілактики

$$I_{п}^{до} = \left( X_{\text{визн}} + \sum_{i=1}^{n-1} x_i \times \frac{6 - X_{\text{визн}}}{(n-1) \times 6} \right) \times 10 = \left( 4 + \frac{3 + 3.125 + 2.7}{3} \times \frac{6-4}{6} \right) \times 10 = 49.85 \quad (6.2)$$

Згідно з нормативами умови праці, до профілактики відповідають IV категорії важкості робіт.

Після профілактики

Фактори	Максимальна оцінка фактора, бал	Фактична тривалість дії фактора, хв	Фактична оцінка важкості, бал
3	4	300	2.5
4	3	480	3
5	4	260	2.17

$$I_n^{до} = \left( 3 + \frac{2.5+2.17}{2} \times \frac{6-3}{6} \right) \times 10 = 41.7 \quad (6.3)$$

Згідно нормам умови праці після проведення заходів відповідають III категорії важкості робіт.

## РОЗДІЛ 7.

### ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ДОСЛІДЖЕННЯ

В магістерській кваліфікаційній роботі досліджувались стиранисть матеріалів для підлог та розроблені загальні методологічні підходи до розв'язання питань довговічності матеріалів для покриття підлог за критерієм стиранисті, що дає можливість зробити висновки:

1 Проведено експериментальне дослідження стиранисті обраних матеріалів за стандартною методикою отримані наступні результати

Стиранність цементно-піщаних плиток, г\см <sup>2</sup> , через	150 м	300м	450м	600м
	G <sub>1</sub>	G <sub>2</sub>	G <sub>3</sub>	G <sub>4</sub>
Оцінка математичного сподівання M (середнє значення)	0,177076	0,409182	0,564177	0,709811
Відхилення від стандарту S	0,058242	0,15824	0,173167	0,196193
Коефіцієнт варіації V	0,328911	0,386722	0,306938	0,276401

Міцність покриття фарби до стирання (X) в кг/мкм;

Оцінка математичного сподівання M (середнє значення)	35,51852
Відхилення від стандарту S	0,501028
Коефіцієнт варіації V	0,014106

Розроблено методологічні бази для визначення стиранисті на установці зворотно поступаюльним рухом стираючого механізму.

Визначено статистичні характеристики часу стирання одного шару фарби та втрати маси кожного зразка

	Час для стирання одного шару	Втрата маси одного зразка
Стандарт	3,537583	0,08528
Середнє значення	88,58333	0,2
Коефіцієнт варіації	0,039935	0,426401

Отримані статистичні характеристики втрати маси цементно-піщаного розчину за один цикл випробувань

Середнє значення	0,763	0,637	0,700	0,638
Стандарт	0,414	0,329	0,321	0,239
Коефіцієнт варіації	0,543	0,516	0,458	0,374

Встановлені залежності між результатами визначених на установці зворотно поступальним рухом стираючого механізму і стандартних експериментів; числові характеристики випадкової величини втрати маси зразків зменшуються після кожного циклу. Це свідчить про зменшення розкиду даних, стабілізацію процесу тертя.

Отримані статистичні характеристики стиранисті цементно-піщаного розчину

Середнє значення	0,007	0,006	0,007	0,006
Стандарт	0,004	0,003	0,003	0,002
Коефіцієнт варіації	0,541	0,515	0,459	0,373

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Барковський В.В., Барковська Н.В., Лопатін О.К. Теорія ймовірностей та математична статистика. 5-те видання. – Київ: Центр учбової літератури, 2010. – 424 с.
2. Валь О. Д., Мельничук О. Д., Королюк С. Л. Теорія ймовірностей від найпростішого: навчальний посібник. Чернівці: Книги-XXI, 2004. 160 с.
3. Вишнівський В.В. Основи надійності та діагностики інформаційних систем/ Василенко В.В., Гніденко М.П., Звенігородський О.С., Зінченко О.В., Іщеряков С.М./ Навчальний посібник. Київ: ННІТ ДУТ, 2020. – 184 с.
4. Волошин О. Р., Галайко Н. В. Математична статистика: курс лекцій. Львів: ЛьвДУВС, 2010. 88 с.
5. Волощенко А. Б., Джалладова І. Б. Теорія ймовірностей та математична статистика: навчально-методичний посібник для самост. вивч. дисципліни. К.: КНЕУ, 2003. 356 с.
6. Донченко В. С., Сидоров М. В., Шарапов М. М. Теорія ймовірності та математична статистика: навчальний посібник. К.: Академія, 2009. 288 с.
7. Жлуктенко В. І., Наконечний С. І. Теорія ймовірностей і математична статистика: навчально-методичний посібник у 2-х частинах. Ч. 1. Теорія ймовірностей. К.: КНЕУ, 2000. 304 с.
8. Жлуктенко В. І., Наконечний С. І. Теорія ймовірностей і математична статистика: навчально-методичний посібник у 2-х частинах. Ч. 2. Математична статистика. К.: КНЕУ, 2001. 336 с.
9. Конет І. М. Теорія ймовірностей та математична статистика в прикладах і задачах: навчально-методичний посібник. Кам'янець-Подільський: Абетка, 2001. 218 с.
10. Конспект лекцій з дисципліни «Теорія і практика наукових досліджень» для студентів ОС «Магістр» усіх форм навчання /Конопелько Є. І., Негрій Т. О. – Покровськ : ДонНТУ, 2021 - 172 с.

11. Медведєв М. Г., Пашенко І. О. Теорія ймовірностей та математична статистика: підручник. К.: Кондор, 2008. 536
12. М. О. Ходак, О. А. Вишневський Критерій оцінки процесу зношування та його математичне моделювання при випробуванні матеріалів і покриттів на абразивну зносостійкість // Вісник двигунобудування. 2006. №3. URL:
13. Карапузов Є.К., Соха В.Г., Величко А.М. Системні рішення з улаштування підлог матеріалами Ceresit і Thomsit: Посібник із проектування, влаштування підлог — К.: Вища освіта, 2009. — 96 с.
14. Гоц В.І., Павлюк В.В., Шилюк П.С. Бетони і будівельні розчини: підручник. Київ, видавництво «Основа», 2018. 568 с
15. В.А Пашинський, В.В Шульгін Загальна методика прогнозування довговічності будівельних матеріалів, виробів та конструкцій Збірник наукових праць. Серія: галузеве машинобудування, будівництво.– Вип 21, 2008 с.88-95
16. ISO 4649:2010 Гума. Визначення опору стирання методом стирання з коченням
17. ДСТУ Б В.2.7-212:2009 Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення стираності
18. ДСТУ Б В.2.7-214:2009 Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками
19. ДСТУ ISO 603-4:2019 Абразиви зі зв'язкою. Розміри. Частина 4. Шліфувальні круги для плоского шліфування, шліфування периферією круга
20. ДСТУ EN ISO 4918:2022 Еластичні, текстильні та ламінатні покриття для підлоги. Випробування на стільці з роликами (EN ISO 4918:2021, IDT; ISO 4918:2016, IDT)
21. ДСТУ Б В.2.7-292:2011 Матеріали полімерні еластичні та текстильні для покриття підлог. Методи контролювання
22. ДСТУ-Н Б В.2.6-212:2016 Настанова з виконання робіт із застосуванням сухих будівельних сумішей

23. ДСТУ EN ISO 6504-3:2022 Фарби та лаки. Визначення покривності. Частина 3. Визначення покривності фарб для цегли (EN ISO 6504-3:2019, IDT).
24. ДСТУ EN ISO 2808:2022 Фарби та лаки. Визначення товщини плівки (EN ISO 2808:2019, IDT; ISO 2808:2019, IDT)
25. ДСТУ EN 927-3:2022 Фарби та лаки. Лакофарбові матеріали та системи покриттів для дерев'яних поверхонь зовнішнього застосування. Частина 3. Натурні випробування на атмосферостійкість (EN 927-3:2019, IDT)
26. ДСТУ Б В.2.7-214:2009. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками.
27. ДСТУ Б В.2.7-176:2008 (EN 206-1:2000, NEQ) Будівельні матеріали. Суміші бетонні та бетон. Загальні технічні умови
28. ДСТУ EN ISO 21546:2022 Фарби та лаки. Визначення стійкості до стирання за допомогою вимірювача лінійного стирання (крокметра) (EN ISO 21546:2020, IDT; ISO 21546:2019, IDT)
29. Шолух Н. Є. Отримання емалей на основі вторинного полістиролу // ВЕЖПТ. 2014. №6 (67).
30. Статистичні методи в інженерних дослідженнях. Навчальний посібник для здобувачів вищої освіти з інженерних спеціальностей. / В.А. Пашинський, М.В. Пашинський: – Кропивницький: ЦНТУ, 2020. – 106 с
31. Основи матеріалознавства і технології будівельних виробів: навчальний посібник. Дворкін Л.Й. – Київ: Кондор, 2024. –808 с.
32. Приклади виконання статистичного аналізу даних у середовищі Microsoft Excel у файлі Аналіз\_даних.xlsx.
- Підлоги. Том 1. Детальний додаток #7 (до НОЙФЕРТА)
33. Andreas Basse-O'Connor, Raphaël Lachièze-Rey, and Mark Podolskij, Power variation for a class of stationary increments Lévy driven moving averages, Ann. Probab. 45 (2017), no. 6B, 4477–4528. MR 3737916, DOI 10.1214/16-AOP1170
34. Bailey C. Bridging and Restraint Effects of Localised Fires in Composite Frame Structures / C.Bailey, I.Burgess, R.Plank // Conference report. International

- Conference " Composite Construction – Conventional and Innovative", Innsbruck, Austria, September 16-18, 1997. – P.379-384.
35. Couchman G. The Use of Composite Connections in Practice / G.Couchman, M.Lawson // 451-456.
36. DIN 1045-2 Norm, 2001-07. Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton-Teil 2: Beton; Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität; Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1. Beuth Verlag, Berlin.
37. Baker F. B. The Basics of Item Response Theory / F. B. Baker. – Portsmouth NH : Heinemann Educational Books, 1985. – 131 p.
38. Hambleton R. K. Fundamentals of Item Response Theory / R. K. Hambleton, H. Swaminathan, H. J. Rogers. – Newbury Park, CA : Sage, 1991.
39. Rogosa D. R. Demonstrating the reliability of the difference score in the measurement of change / D. R. Rogosa, J. B. Willet // *Journal of Educational Measurement* , 20, 335–343. 13. Stanley J. C. Reliability / J. C. Stanley // *Educational Measurement Reliability* / R. Thorndike (ed.). – 2-nd ed. – Washington, D.C : American Council on Education, 1971. – P. 356–442.
40. Traub R. E. Understanding reliability. Educational measurement: Issues and practice / R. E. Traub , G. L. Rowley. – 1991. – № 10 (1). – P. 37–45.
41. Thi To Nhu Dang and Jacques Istas, Estimation of the Hurst and the stability indices of a H-self-similar stable process, *Electron. J. Stat.* 11 (2017), no. 2, 4103–4150. MR 3715823, DOI 10.1214/17-EJS1357
42. Jamrozny Ż. Beton i jego technologie. – Warszawa: Wydawnictwo naukowe pwn, 2000. – 486 s.
43. Vladas Pipiras, Murad S. Taqqu, and Patrice Abry, Bounds for the covariance of functions of infinite variance stable random variables with applications to central limit theorems and wavelet-based estimation, *Bernoulli* 13 (2007), no. 4, 1091–1123.
44. B. Boufoussi, M. Dozzi, and R. Guerbaz, On the local time of multifractional Brownian motion, *Stochastics* 78 (2006), no. 1, 33–49., DOI 10.1080/17442500600578073