

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**Український державний університет
науки і технологій**

Кафедра «Технології машинобудування»

В авторській редакції

**МЕТОДОЛОГІЯ ТА ОРГАНІЗАЦІЯ
НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ**

Навчально-методичні рекомендації
до проведення лабораторних, практичних та індивідуальних занять

Електронне видання

ДНІПРО
2025

Упорядник:
В. М. Анісімов

Електронне видання

Схвалено Групою забезпечення якості освітньої програми
«Технологія машинобудування»
спеціальності 131 «Прикладна механіка» (магістерський рівень)
Протокол № 4 від 14.03.2025 р.

М 54 **Методологія та організація наукових досліджень : навчально-методичні рекомендації до проведення лабораторних, практичних та індивідуальних занять / упоряд. В. М. Анісімов ; Укр. держ. ун-т науки і технологій. – Електрон. вид. – Дніпро : УДУНТ, 2025. – 99 с.**

Навчально-методичні рекомендації призначені для використання здобувачами вищої освіти денної та заочної форми навчання за спеціальністю 131(G9) – прикладна механіка освітніх програм «Технологія машинобудування» та «Інтегровані технології виробництва» другого (магістерського) рівня, виконання лабораторних, практичних та індивідуальних занять з дисципліни «Методологія та організація наукових досліджень».

Навчально-методичні рекомендації містять основні теоретичні положення для засвоєння матеріалу, нормативно-довідковий матеріал, необхідний обсяг виконання та приклад розрахунків, запитання для самоконтролю, рекомендовану літературу.

ЗМІСТ

1. РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ВИКОНАННЯ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ЗАВДАННЯ МЕТОДИКА БІБЛІОГРАФІЧНО-ПОШУКОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ПРИ ВИКОНАННІ НАУКОВОГО РЕФЕРАТУ ЗА ТЕМОЮ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ.....	5
2. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2 ПІДГОТОВКА ТА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ З ВИКОРИСТАННЯМ ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ ТА МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ.....	22
3. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3 ТЕНЗОМЕТРИЧНИЙ МЕТОД ВИМІРЮВАННЯ НАПРУЖЕНЬ.....	34
4. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4 ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУР У МАШИНОБУДУВАННІ.....	42
5. ПРАКТИЧНА РОБОТА № 5 ПЕРЕВІРКА ВІДТВОРЮВАНОСТІ ЕКСПЕРИМЕНТІВ.....	49
6. ПРАКТИЧНА РОБОТА № 6 ПОВНИЙ ФАКТОРНИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ.....	53
7. ПРАКТИЧНА РОБОТА № 7 ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТУ.....	64
8. ПРАКТИЧНА РОБОТА № 8 МЕТОДИ ПОШУКУ НОВИХ КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ.....	68
ВИКОРИСТАНА ТА РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА	83
ДОДАТОК А. Значення критерію Кохрена ($G_{\text{табл}}$)	84
ДОДАТОК Б. Значення критерію Стьюдента ($t_{\text{табл}}$)	85
ДОДАТОК В. Значення критерію Фішера ($F_{\text{табл}}$) для рівня значимості $\alpha=0,05$	86
ДОДАТОК Г. Міжгалузевий фонд евристичних прийомів перетворення технічного об'єкта	87

ВСТУП

Метою дисципліни «Методологія та організація наукових досліджень» є формування у здобувачів вищої освіти систематизованого комплексу знань про загальні принципи, форми та методи проведення наукових досліджень.

Основними завданнями вивчення дисципліни є:

- ознайомлення із засадами організації наукових досліджень в Україні;
- оволодіння сучасною методологією наукових досліджень;
- ознайомлення з особливостями вибору напрямів наукових досліджень та визначення етапів НДР;
- вивчення засад інформаційного забезпечення НДР;
- ознайомлення з методами проведення теоретичних та експериментальних досліджень;
- ознайомлення з особливостями оформлення результатів наукової роботи;
- формування практичних навичок раціональної організації наукової роботи.

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми здобувачі вищої освіти повинні

знати:

- засади організації НДР в Україні;
- теоретичні та методологічні основи наукового дослідження;
- особливості вибору напрямку наукового дослідження та формування етапів НДР;
- особливості пошуку, накопичення та обробки наукової інформації;
- методи проведення теоретичних та експериментальних досліджень;
- методичні та практичні основи обробки результатів досліджень;
- основні вимоги до оформлення результатів проведення НДР;
- особливості впровадження результатів наукової роботи;
- основні принципи організації роботи в наукових колективах;

вміти:

- вибирати напрями наукових досліджень та формувати етапи НДР;
- виконувати інформаційний пошук;
- формувати задачі та вибирати методи теоретичних та експериментальних досліджень;
- виконувати розрахунки економічної ефективності теми та результатів наукових досліджень;

- оформляти результати НДР;
- організувати роботу у наукових колективах;
- використовувати набуті знання в практичній діяльності.

1. РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ВИКОНАННЯ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ЗАВДАННЯ

Методика бібліографічно-пошукової діяльності при виконанні літературного огляду за темою магістерської роботи

Мета роботи: засвоєння методики бібліографічно-пошукової роботи та виконання літературного огляду за темою магістерської роботи.

Частина I. Основи бібліографічно-пошукової діяльності

Теоретичні відомості

Накопичення, зберігання та створення умов для користування літературними джерелами здійснюють бібліотеки (загального користування і спеціалізовані – наукові, технічні, медичні, педагогічні, історичні, іноземної літератури тощо). У бібліотеках встановлено певний порядок зберігання інформації. Існує *основний* і *довідковий* фонд.

Основний фонд (книги, журнали, збірники, бюлетені, звіти, рукописи тощо) розміщується на полицях сховищ бібліотеки або зберігається в мікрофільмах, базах комп'ютерів і компакт-дисках.

Довідковий фонд містить сукупність вторинних інформаційних документів основного фонду. Вторинна інформація являє собою результат аналітико-синтетичного логічного опрацювання первинних документів з метою відобразити їхній зміст у "згорнутому" вигляді. Найпоширенішим видом такого опрацювання і найбільш стислого оформлення відомостей про різноманітні публікації є каталоги та картотеки.

Вторинну інформацію довідкового фонду зберігають на бібліографічних картках (розміром 125x75 мм), розміщених у каталожних висувних ящиках. Каталог являє собою покажчик друкованих видань, який знаходиться в кожній бібліотеці. Складається він з карток, в яких занотовані основні характеристики книги: шифр, який позначав місце зберігання книги в бібліотечному фонді і використовується для швидкого знаходження книги працівниками бібліотеки;

автор, назва, підзаголовок та інша інформація. Картки в каталогах класифікують за певними ознаками.

Існує три основних види каталогів:

- алфавітний – містить відомості про наявні у даній бібліотеці літературні джерела незалежно від їхнього змісту, які розміщені у алфавітній послідовності прізвищ їх авторів або назву;

- систематичний – складається за галузями знань: наука, освіта, техніка, економіка та ін. Він дає можливість визначити, з яких галузей знань і які саме книги є в бібліотеці;

- предметний – відображає більш часткові питання та утворюється назвами предметів з дотриманням алфавіту.

Крім алфавітного, систематичного та предметного каталогів в бібліотеках є картотеки газетно-журнальних статей, рецензій та інші тематичні картотеки.

В алфавітному каталозі картки з описом видань розміщуються в чіткому алфавітному порядку прізвищ авторів або назв творів.

Уміле користування довідковим фондом сприяє скороченню часу на пошук потрібної інформації та підвищує ефективність праці дослідника. Кожен, хто починає працювати з літературними джерелами, повинен знати основні положення інформаційного пошуку.

Інформаційний пошук – це сукупність операцій, спрямованих на знаходження документів, потрібних у процесі дослідження певної проблеми. Пошук може бути ручним або автоматизованим.

Ручний пошук здійснюють за допомогою звичайних бібліографічних карток, картотек, друкованих покажчиків. Автоматизований пошук здійснюють за допомогою ЕОМ.

Інформаційний пошук здійснюють на основі інформаційно-пошукової мови (ІПМ). Вона являє собою семантичну (сміслову) систему символів і правил їх сполучення.

Найбільш поширеним варіантом ІПМ є універсальна десяткова класифікація документів інформації (УДК). Десятковою вона називається тому, що всі галузі знань розподілені в ній на 10 відділів, які в свою чергу діляться на 10 підрозділів, ті – в свою чергу – на 10 частин і т. ін. Кожна частина деталізується до потрібного ступеня.

Основні відділи УДК такі: 0 – загальний розділ; 1 – філософія; 2 –

релігія; 3 – суспільні науки; 4 – мовознавство; 5 – математичні та природничі науки; 6 – медицина, техніка, сільське господарство; 7 – мистецтво, спорт; 8 – літературознавство; 9 – історія, географія.

Художня література не відноситься ні до якого розділу і відповідні бібліографічні картки розміщують, як правило, в алфавітному каталозі.

Структура УДК складається з груп основних індексів і визначників. Групи діляться на підгрупи загальних і спеціальних визначників. УДК має низку переваг: простота засвоєння працівниками видавництв і бібліотек, зручність шифрування, відносна швидкість пошуку інформації для вузькоспеціалізованих тем.

Завдання:

1. Навчитись вести бібліографічний пошук джерел інформації за темою магістерської роботи.
2. Засвоїти правила оформлення літературних джерел, навести приклади та скласти власну картотеку за темою магістерської роботи.
3. Навчитись працювати з науковою літературою та закріпити навички конспектування наукового тексту, використовуючи результати бібліографічно-пошукової діяльності.

Частина II Виконання літературного огляду

Завдання:

1. Сформулювати сутність процесу виконання наукового реферату.
2. Охарактеризувати основні компоненти наукового реферату.
3. Розробити методiku написання власного наукового реферату.
4. Підготувати та оформити науковий реферат.

Теоретичні відомості

Написання і захист реферату є важливою формою самостійної навчальної діяльності студентів.

Реферат (від лат. Referrate – доповідати, повідомляти):

- 1) короткий усний або письмовий виклад наукової праці, результатів наукового дослідження, змісту книги, статті та ін.;
- 2) доповідь на будь-яку тему, написана, зроблена на основі критичного огляду літературних та інших джерел.

Термін «реферат» залежно від спрямованості змісту має декілька значень, кожне з яких пов'язане із певним способом переробки первинної інформації і з певною формою подачі вторинної інформації. Зокрема, у науковому та навчальному вжитку термін «реферат» трактується як «науковий реферат», у скороченому позначенні — «НР».

Науковий реферат – це самостійна творча робота студента, що засвідчує його знання літератури з теми, розуміння основних підходів до вирішення наукової і практичної проблеми, а також відображає власні професійні погляди і демонструє його вміння усвідомлювати сутність явища на основі теоретичних знань.

Отже, науковий реферат є однією з початкових форм подачі результатів дослідження у письмовому вигляді. За допомогою реферату дослідники викладають попередні результати власного наукового пошуку. У рефераті зазвичай розкривається теоретичне та практичне значення теми, аналізуються публікації з теми, дається оцінка та висновки щодо опрацьованого наукового матеріалу. Реферат засвідчує ерудицію дослідника, його вміння самостійно аналізувати, систематизувати, класифікувати та узагальнювати наукову інформацію. Реферат не є дослівним переказом тексту підручника або навчального посібника, а являє собою одну з форм наукового дослідження на певну тему, творчо перероблену на основі знайомства зі станом сучасних наукових досліджень або виклад основних положень певних видань чи їх частин. Реферат має бути виконано самостійно. Мета написання реферату полягає у набутті студентом знань, вміння та навичок працювати з науковою літературою, самостійно аналізувати та узагальнювати матеріал, робити і формулювати власні висновки та пропозиції.

Реалізація таких цілей втілюється в життя шляхом поступового розв'язання наступних задач:

- вивчення літератури з певного питання;
- вивчення інформації, яка міститься в літературі або в ресурсах Інтернету;
- збирання і узагальнення матеріалу;
- складання плану реферату;
- написання реферату;
- оформлення реферату.

За допомогою реферату студент глибше вивчає проблему, вчиться правильно оформлювати роботу та доповідати про результати своєї праці.

Підготовка реферату включає в себе наступні етапи:

- 1) вибір теми;
- 2) підбір і вивчення спеціальної літератури;
- 3) складання плану реферату;
- 4) викладення змісту теми;
- 5) оформлення реферату;
- 6) усний виклад реферату.

Основні категорії, що характеризують процес реферування – суб'єкт, об'єкт, предмет і результат.

Суб'єкт реферування – автор наукового реферату.

Об'єкт реферування – первинна наукова інформація, зафіксована на різноманітних носіях.

Предмет реферування – специфічні носії первинної наукової інформації, які можуть виступати у таких варіантах:

1. Окремі книги, статті, документи, звіти про наукову роботу.
2. Сукупність літературних та інших джерел.
3. Результати власного наукового пошуку автора реферату, зафіксовані належним чином.

Результати реферування – документ, який містить виклад (повний, скорочений, короткий) зміст предмета реферування.

Науковий реферат (НР) – письмова доповідь про наслідки вивчення певної наукової проблеми (теми) на основі аналітичного огляду літературних та інших джерел.

Задачі підготовки наукового реферату мають навчальний (1-2) та науковий характер (3-4):

1. Поглиблення, закріплення та систематизація знань з певної теми або проблеми, яка може бути сукупністю тем.
2. Підготовка до виконання курсових і кваліфікаційних робіт.
3. Виявлення здібностей дослідника, рівня підготовленості до самостійної роботи з літературними та іншими джерелами.
4. Вироблення і розвиток умінь проведення наукової роботи.

Класифікація наукових рефератів

Основними критеріями класифікації наукових рефератів є тематика, спрямування та цільове призначення. Згідно вказаних критеріїв виділяються такі види наукових рефератів: тематичний (оглядовий), методичний; інформаційний, біографічний, полемічний, бібліографічний та ін.

– тематичний (оглядовий) реферат – короткий критичний виклад матеріалів з вузької теми або часткової проблеми, іноді тільки за опублікованими друкованими працями;

– методичний реферат – послідовний розгляд та аналіз методів і прийомів конкретного дослідження та їх оцінка;

– інформаційний реферат – короткий виклад суті певної теми з метою інформування про підсумки наукової конференції; наукового з'їзду чи симпозіуму, оцінка цих підсумків. Іноді інформаційний реферат має завданням інформувати про наукові праці мало відомі широкому колу спеціалістів;

– біографічний реферат – аналітичний опис життя діячів науки або представників наукової школи, оцінка їх ролі в розвитку науки, соціальної практики чи технічного прогресу;

– полемічний реферат – повідомлення про спірну, мало досліджену проблему чи тему, до якої існують різні підходи та погляди вчених;

– бібліографічний реферат – огляд статей певної проблематики у науковому; журналі за деякий визначений період часу (як правило, за рік).

Вимоги до наукового реферату поділяються на такі три групи:

1. Загальні вимоги.
2. Вимоги до змісту.
3. Вимоги до форми.

Кожна група вимог деталізується згідно з конкретними напрямками.

1. Загальні вимоги.

1. Відповідність принципам наукового дослідження.
2. Використання адекватних методів роботи над рефератом.
3. Точність та об'єктивність у передачі інформації.
4. Доступність сприйняття тексту за змістом та формою.
5. Обсяг реферату (визначається конкретним завданням).

2. Вимоги до змісту.

1. Відображення суті теми.
2. Всебічне охоплення теми.

3. Глибоке розкриття теми.
4. Ясність та логічність викладу матеріалу.
5. Відображення поглядів (або досліджень автора реферату).

3. Вимоги до форми.

1. Обов'язкове використання державної мови.
2. Наявність чіткої зовнішньої рубрикаційної структури.
3. Дотримання пропорційності компонентів структури.
4. Внутрішня структурованість викладу розділів і пунктів.
5. Пристойне грамотне оформлення.

Окремо визначається група вимог, які висуваються науковим керівником і (або) автором реферату. Такі вимоги можуть стосуватися змісту, форми, виду реферату, висвітлення теми в цілому або певних аспектів чи акцентів у розробці висвітлення теми, а також застосування певних методів роботи над науковим рефератом. Обов'язкове дотримання всіх зазначених вимог забезпечує необхідний науковий рівень підготовки реферату. Робота над рефератом починається із видачі завдання (початкового інструктажу), поділяється на певні етапи і завершується захистом реферату.

Основні етапи роботи над рефератом такі.

1. Початковий інструктаж здійснює науковий керівник магістерської роботи з метою ознайомлення студента із вибором теми, видом реферату, основними завданнями та іншими аспектами творчого і технічного виконання реферату.

2. Вибір теми реферату здійснюється в межах теми магістерської роботи. Автор може уточнити запропоновану тему або запропонувати самостійно сформульовану, погодивши її з керівником. Вибрана автором тема фіксується у завданні.

3. Ознайомлення з літературою включає два компоненти:

– ознайомлення з методичною літературою (посібники, вказівки, рекомендації) з проблем написання рефератів, а також, з літературою за темою реферату у каталогах спеціальних і загальних бібліотек;

– складання попереднього бібліографічного списку – літератури на бібліографічних картках.

4. Розробка робочого плану реферату полягає у виборі, корекції та адаптації такого плану відповідно до виду реферату. Можлива також

самостійна розробка робочого плану при опрацюванні оригінальної теми реферату та специфічному його виді.

5. При написанні реферату студент повинен регулярно консультиватися з науковим керівником своєї магістерської роботи. На консультацію автор реферату приходить відповідно підготовленим, при наявності таких документів:

- робочий план реферату;
- попередній бібліографічний список літератури;
- список запитань та можливих відповідей на них;
- перелік пропозицій з наступної роботи.

6. Відбір та опрацювання літератури здійснюється на основі попереднього бібліографічного списку, скоректованого після консультації з науковим керівником. Опрацювання літератури відбувається при використанні умінь роботи з науковою літературою – складання виписок, планів, тез, конспектів на основі застосування методів, адекватних виду та задачам конкретного реферату. Можливі, зокрема, такі способи опрацювання літератури, як анотування, резюмування, рецензування та ін.

7. Написання тексту реферату є результатом аналітико-синтетичної переробки інформації, одержаної під час опрацювання літератури.

8. Оформлення реферату включає необхідні процедури та операції, наслідком виконання яких є готовий до захисту реферат.

9. Підготовка виступу на захисті передбачає психологічне настроювання та складання плану виступу. Стислий план виступу містить такі пункти:

- постановка проблеми (теми);
- обґрунтування актуальності теми;
- визначення мети, завдань, засобів, методів роботи;
- розкриття ступеня наукової розробки теми;
- відомості про структуру реферату;
- висновки та підсумки.

Час виступу планується у межах 10–15 хвилин, залежно від характеру виступу та рекомендацій наукового керівника.

10. Захист реферату здійснюється у встановлений керівником час у відповідній аудиторії.

Методи роботи над рефератом

Підготовка реферату – пошуковий процес із використанням однієї групи методів наукового дослідження – методів роботи з літературою, Пропоновані методи використовуються у різних варіаціях набору, із різною глибиною та масштабами застосування, але саме зазначений комплекс методів забезпечує високий рівень виконання реферативного дослідження.

Основні методи роботи з літературою такі:

1. Бібліографічний пошук літератури до теми.
2. Теоретичний аналіз літературних та інших джерел.
3. Ретроспективний та історично-порівняльний аналіз.
4. Інтерпретаторсько-аналітичний метод (концептуальний аналіз).
5. Класифікація та систематизація.
6. Синтез та узагальнення інформації.
7. Подача результатів аналітико-синтетичної обробки інформації.

Перший і другий, а також шостий і сьомий методи є обов'язковими при підготовці реферату.

Основні вимоги до реферату

При написанні реферату необхідно дотримуватись вимог Державного стандарту України ДСТУ 3008-95 [1].

Загальні вимоги:

- чіткість та логічна послідовність викладення матеріалу;
- переконливість аргументації;
- стислість і точність формулювань, які виключають можливість неоднозначного тлумачення;

– конкретність викладення результатів дослідження;

– обґрунтованість рекомендацій та пропозицій.

У рефераті повинні бути відображеними:

- актуальність тематики та відповідність до сучасного стану науки, техніки і питань виробництва;

– обґрунтування вибраного напрямлення досліджень, методів розв'язку задачі та їх порівняльні оцінки;

– аналіз та узагальнення існуючих результатів;

– розробка загальної методики проведення досліджень;

- характер і зміст виконаних теоретичних досліджень та розрахунків, методи досліджень;
- обґрунтування необхідності проведення експериментальних досліджень, принцип дії розроблених програм, характеристики цих програм, оцінка похибок розрахунків, отримані експериментальні дані;
- оцінка повноти розв'язку поставленої задачі;
- оцінка достовірності отриманих результатів, їх порівняння з аналогічними результатами;
- наукова та практична цінність виконаної роботи.

Реферат – це науково-технічний документ, який містить вичерпну систематизовану інформацію за вибраною темою (приблизно на 20 – 30 сторінках формату А4), передбачає виклад матеріалу на основі спеціально підібраної літератури та самостійно проведеного дослідження.

Реферат необхідно оформлювати відповідно до Державного стандарту України та дотримуватися порядку подання окремих видів текстового матеріалу, таблиць, формул та ілюстрацій.

Структура реферату

- титульний аркуш;
- зміст;
- перелік умовних позначень, символів, одиниць скорочень і термінів (за необхідності);
- вступ;
- суть реферату (основна частина);
- висновки;
- список використаних джерел (перелік посилань); додатки (за необхідності).

Вимоги до змісту структурних частин

Титульний аркуш

Титульний аркуш є першою сторінкою реферату, який містить:

- найменування організації, де виконана робота;
- назву роботи;
- прізвище, ім'я, по батькові автора та його статус;
- науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові наукового керівника;

– місто та рік.

Зміст реферату

Зміст подають після титульного аркуша, починаючи з нової сторінки. До змісту включають структурні елементи у такому порядку: перелік умовних позначень, символів, одиниць скорочень і термінів (за необхідності); вступ; послідовно перелічені найменування всіх розділів, підрозділів і пунктів (якщо вони мають заголовок) суті роботи; висновки; рекомендації (за необхідності); список використаних джерел; назви додатків і номери сторінок, які містять початок відповідного матеріалу.

Перелік умовних позначень, символів, одиниць скорочень і термінів

Перелік умовних позначень, символів, одиниць скорочень і термінів складають за умови повторення таких елементів більше трьох разів у тексті та вміщують безпосередньо після змісту, починаючи з нової сторінки. Інакше – їх розшифровку наводять у тексті при першому згадуванні. Якщо у роботі вжита специфічна термінологія, чи використано маловідомі скорочення, нові символи, позначення і таке інше, то їх перелік може бути поданий у вигляді окремого списку, який розміщують перед вступом.

Перелік треба друкувати двома колонками, в яких ліворуч за абеткою наводять скорочення, праворуч – їх детальну розшифровку.

Вступ

Вступ розташовують після переліку умовних позначень, символів, одиниць скорочень і термінів (якщо він є), починаючи з нової сторінки. У вступі розкривають сутність і стан наукової задачі та її значущість, підстави та вихідні дані для розробки теми, обґрунтування необхідності проведення дослідження. Далі подають загальну характеристику роботи у рекомендованій нижче послідовності.

Обґрунтовують актуальність та доцільність роботи для розвитку відповідної галузі науки чи виробництва шляхом аналізу та порівняння з відомими розв'язаннями наукової задачі.

Коротко викладають зв'язок вибраного напрямку досліджень з планами ВНЗ, а також з галузевими та (або) державними планами, програмами.

Формулюють мету роботи і задачі, які необхідно вирішити для досягнення поставленої мети.

Об'єкт дослідження — це процес або явище, що породжує проблемну ситуацію і вибране для вивчення.

Предмет дослідження міститься в межах об'єкта.

Об'єкт і предмет дослідження як категорії наукового процесу співвідносяться між собою як загальне і часткове. В об'єкті виділяється та його частина, яка є предметом дослідження.

Подають перелік використаних методів дослідження для досягнення поставленої у роботі мети. Перераховувати їх треба не відірвано від змісту роботи, а коротко та змістовно визначаючи, що саме досліджувалось тим чи іншим методом. Також подають коротку анотацію нових наукових положень (рішень), запропонованих автором особисто. Необхідно показати відмінність одержаних результатів від відомих раніше, описати ступінь новизни (вперше одержано, удосконалено, дістало подальший розвиток). У роботі, що має теоретичне значення, треба подати відомості про наукове використання результатів досліджень або рекомендації щодо їх використання, а у роботі, що має прикладне значення, – відомості про практичне застосування отриманих результатів або рекомендації щодо їх використання. Відзначаючи практичну цінність одержаних результатів, необхідно подати інформацію щодо ступеня готовності до використання або масштабів використання. Необхідно дати короткі відомості щодо впровадження результатів досліджень із зазначенням назв організацій, в яких здійснена реалізація, форм реалізації та реквізитів відповідних документів.

Вступ розкриває сутність і стан наукової проблеми та її значимість, підстави і вихідні дані для розробки теми, обґрунтування необхідності проведення дослідження. У вступі треба коротко відобразити оцінку сучасного стану досліджуваної проблеми, обґрунтування вибраної теми та необхідності проведення досліджень, відмічаючи:

- практично розв'язані задачі;
- прогалини знань, що існують у даній галузі;
- провідних вчених і фахівців даної галузі; актуальність та новизну теми;
- взаємозв'язок з іншими роботами.

Необхідно також дати коротку характеристику розділів реферату.

Основна частина

Суть роботи розміщують після вступу, починаючи з нової сторінки. Суть роботи – це викладання відомостей про предмет дослідження, необхідних і достатніх для розкриття сутності даної роботи (опис теорії, методів, характеристик створеного об'єкта, принципів дії об'єкта, основних принципових рішень, що дають уявлення про його устрій і т. ін.) та її результатів. Викладаючи сутність роботи, особливу увагу приділяють новизні у ній. Суть роботи викладають, поділяючи матеріал на розділи. Кожний розділ починають із нової сторінки.

У розділах основної частини подають:

- огляд літератури за темою і вибір напрямків досліджень;
- виклад загальної методики і основних методів досліджень;
- експериментальну частину і методику досліджень;
- відомості про проведені теоретичні і (або) експериментальні дослідження;
- аналіз і узагальнення результатів досліджень.

В огляді літератури окреслюють основні етапи розвитку наукової думки за своєю проблемою. Стисло, критично висвітлюючи роботи попередників, автор повинен назвати ті питання, що залишились невирішеними і, отже, визначити своє місце у розв'язанні проблеми. Бажано закінчити цей розділ коротким резюме стосовно необхідності проведення досліджень у даній галузі.

У другому розділі, як правило, обґрунтовують вибір напрямку досліджень, наводять методи вирішення задач та їх порівняльні оцінки, розробляють загальну методику проведення досліджень. У теоретичних роботах розкривають методи розрахунків, гіпотези, що розглядають, в експериментальних – принципи дії та характеристики розробленого програмномодельного комплексу, оцінки похибок вимірювань.

Далі, у наступних розділах, з вичерпною повнотою викладаються результати власних досліджень автора з висвітленням того нового, що він вносить у розробку проблеми. Автор повинен давати оцінку повноти вирішення поставлених задач, оцінку достовірності одержаних результатів (характеристик, параметрів), їх порівняння з аналогічними результатами вітчизняних і зарубіжних праць, обґрунтування потреби додаткових досліджень, негативні результати, які обумовлюють необхідність припинення подальших досліджень.

Розділи можна поділяти на підрозділи і пункти. Пункти, якщо це необхідно, поділяють на підпункти. Кожен пункт і підпункт повинен містити закінчену інформацію. Повні докази або подробиці дослідження можна розмістити у додатках.

Висновки

Висновки розташовують безпосередньо після викладення суті роботи, починаючи з нової сторінки. У висновках наводять оцінку одержаних результатів дослідження (наукову, практичну, соціальну цінність). Ця частина містить висновки автора стосовно суті проблеми, питань, що розглядались у роботі, можливих галузей використання здобутих результатів. У висновках необхідно наголосити на якісних та кількісних показниках отриманих результатів, викласти рекомендації щодо їх використання.

Текст висновків можна поділяти на пункти.

Рекомендації

Рекомендації вміщують, якщо це потрібно, після висновків, починаючи з нової сторінки. У рекомендаціях визначають подальші роботи, які вважають необхідними, приділяючи основну увагу пропозиціям щодо ефективного використання результатів дослідження. Текст рекомендацій можна поділяти на пункти.

Список використаних джерел

Список використаної літератури, який починають з нової сторінки, завершує основну частину. Перелік джерел, на які є посилання в основній частині роботи, наводять після рекомендацій, якщо вони є. Список використаних джерел – елемент бібліографічного апарату, котрий містить бібліографічні описи використаних джерел. Порядкові номери описів у переліку є посиланнями у тексті (номерні посилання). Список використаної літератури складають із джерел у тому порядку, за яким вони вперше згадуються у тексті (найбільш зручний для користування). Відомості про джерела, включені до списку, необхідно давати відповідно до вимог державного стандарту.

Додаток

Додаток необхідно починати з нової сторінки. У додатках вміщують матеріал, який:

- є необхідним для повноти роботи, але включення його до основної частини роботи може змінити логічне та впорядковане уявлення про роботу;
- не може бути послідовно розміщений в основній частині роботи через великий обсяг або способи відтворення;
- може бути вилучений для широкого кола читачів, але є необхідним для фахівців.

У додаток, за необхідності, можна включити допоміжний матеріал, наприклад:

- проміжні математичні доведення, формули, рівняння та розрахунки;
- таблиці додаткових цифрових даних;
- протоколи і акти випробувань, впровадження;
- опис нових програм, які використовувались при проведенні експериментів та розрахунків;
- інструкції, методики, опис алгоритмів і програм реалізації на комп'ютерах створених методів;
- текст розроблених програм;
- ілюстрації допоміжного характеру;
- додатковий перелік джерел, на які не було посилань у роботі, але які можуть викликати інтерес.

Загальні правила оформлення реферату

Наукова робота повинна бути надрукованою за допомогою комп'ютера на одній стороні аркуша білого паперу формату А4 (210×297 мм) через півтора інтервали. Бажано використовувати шрифт текстового редактора Word Times New Roman розміру 14.

Під час виконання роботи необхідно дотримуватись рівномірної щільності, контрастності й чіткості зображення впродовж усієї роботи. Всі лінії, літери, цифри та знаки повинні бути однаково чорними впродовж усієї роботи. Окремі слова, формули, знаки, які вписують чорнилом, тушшю, пастою у надрукований текст мають бути чорного кольору, при цьому щільність вписаного тексту має максимально наближуватись до щільності основного тексту. Помилки, описки та графічні неточності можна виправляти підчищенням або зафарбуванням білою фарбою та нанесенням на тому ж місці або між рядками виправленого тексту машинописним способом або від руки. Виправлене повинно бути чорного кольору.

Текст роботи друкують, дотримуючись таких відступів: верхній, лівий і нижній – не менше 20 мм, правий – не менше 10 мм. Розмір шрифту – не менше 12 (стандарт – 14). Абзацний відступ повинен бути однаковим упродовж усього тексту роботи і дорівнювати п'яти знакам.

Відстань між заголовком (за винятком заголовка пункту) і подальшим чи попереднім текстом має бути за комп'ютерним набором – не менше, ніж два рядки. Не допускається розміщувати назву розділу, підрозділу, а також пункту й підпункту у нижній частині сторінки, якщо після неї розміщено тільки один рядок тексту.

Допускається включення до роботи сторінок, виконаних методом репрографії. Роздруковані на ЕОМ програмні документи повинні відповідати формату А4 (мають бути розрізаними), їх включають до загальної нумерації сторінок роботи і розміщують, як правило, у додатках.

Текст основної частини роботи поділяють на розділи, підрозділи, пункти та підпункти. Розділи та підрозділи роботи повинні мати заголовки. Пункти та підпункти можуть мати заголовки. Заголовки структурних частин роботи і заголовки розділів слід розташовувати посередині рядка та друкувати великими літерами без крапки у кінці, не підкреслюючи. Заголовки підрозділів, пунктів і підпунктів роботи слід починати з абзацного відступу і друкувати малими літерами (крім першої великої) не підкреслюючи, без крапки у кінці. Перенесення слів у заголовку розділу не допускається. Якщо заголовок складається з двох і більше речень, їх розділяють крапкою. Новий розділ та кожен структурну частину треба починати з нової сторінки. Назви установ, організацій, фірм, програмних засобів, прізвища та інші власні назви у тексті роботи наводять мовою оригіналу. Допускається транслітерувати власні назви й наводити назви організацій у перекладі на мову роботи, додаючи (при першій згадці) оригінальну назву.

Типові помилки у написанні та оформленні реферату:

1. – Автор не виявив самостійності, робота являє собою компіляцію або плагіат.
2. – Зміст роботи не відповідає темі реферату або не розкриває її в основній частині.
3. – Обсяг роботи менший за 10-15 сторінок друкованого тексту формату А4.

4. – У сформованих розділах (підрозділах) не розкрито реальну проблемну ситуацію, стан об'єкта.
5. – Мета дослідження не пов'язана з проблемою, сформульована абстрактно, не описано специфіку об'єкта і предмета.
6. – Не виконаний аналіз сучасних офіційних і нормативних документів, нової спеціальної літератури з теми дослідження.
7. – Поверхово висвітлено стан практики, власний досвід.
8. – Кінцевий результат не відповідає меті дослідження, висновки не відповідають поставленим завданням.
9. – У роботі відсутні посилання на ті джерела, з яких запозичена інформація.
10. – Реферат не вичитаний, містить значну кількість лінгвістичних, фактологічних, юридичних помилок.
11. – Бібліографічний опис джерел не відповідає вимогам державного стандарту.
12. – Відсутні власні погляди автора на проблему та шляхи її вирішення.

Запитання для самоперевірки

1. Назвіть основні види каталогів.
2. Сутність та структура універсальної десяткової класифікації (УДК) інформаційних документів.
3. Що таке науковий реферат?
4. Назвіть основні етапи підготовки реферату.
5. Класифікація наукових рефератів.
6. Сформулюйте основні вимоги до наукового реферату.
7. Назвіть основні етапи роботи над рефератом.
8. Основні методи роботи з літературою при написанні наукового реферату.
9. Основні вимоги при написанні наукового реферату.
10. Структура наукового реферату.
11. Сформулюйте загальні правила оформлення наукового реферату.
12. Назвіть типові помилки у написанні та оформленні наукового реферату.

2. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

Підготовка та проведення експериментальних досліджень з використанням планування експерименту та математичного моделювання

Мета роботи: засвоїти методику підготовки експерименту, навчитись розробляти плани та математичні моделі і використовувати їх у наукових дослідженнях.

2.1 Теоретичні положення

Шорсткість поверхні, поряд зі зміцненням, залишковими напруженнями і мікроструктурою, є характеристикою якості поверхневого шару деталей машин, під яким розуміють сукупність геометричних і фізико-механічних його властивостей, що відрізняються від властивостей основного металу.

Характеристики шорсткості значною мірою визначають експлуатаційні властивості деталей машин, такі, як зносостійкість, втомна міцність, контактна жорсткість і ряд інших. Звідси впливає важливість отримання навичок по вимірюванню шорсткості та освоєння методів, що дозволяють швидко і надійно визначити вплив на неї складових режиму обробки.

Дослідження можна проводити двома шляхами. Перший шлях полягає в тому, що змінюється (варіюється) одна зі складових режиму обробки (наприклад, швидкість V), а решта (подача S і глибина різання t) залишаються незмінними. Після проведення експерименту будується графік залежності якогось параметра шорсткості від того елемента режиму (фактору), що варіюється.

Таке однофакторне експериментування вимагає для детального аналізу зв'язку шорсткості зі складовими режиму різання великого числа випробувань, яке різко зростає зі збільшенням числа факторів. Тому доцільно застосувати методику багатофакторного планування експерименту, яка дозволяє вибрати оптимальну стратегію, побудувати математичні моделі процесу, з їх допомогою провести аналіз впливу на шорсткість режиму різання.

Планування експерименту – це процедура вибору числа та умов проведення дослідів, необхідних і достатніх для вирішення поставленого завдання з необхідною точністю.

При цьому істотно наступне:

1. Прагнення до мінімізації числа дослідів;
2. Одночасне варіювання всіма змінними, які визначають процес за спеціальними правилами – алгоритмами;
3. Використання математичного апарату формалізує багато дій експериментатора;
4. Вибір чіткої стратегії дозволяє приймати обґрунтовані рішення після кожної серії експериментів.

При вирішенні завдань необхідно ознайомитися з такими основними поняттями, як об'єкт дослідження, функція відгуку, фактор, інтервал варіювання, і основними вимогами, що висуваються до них.

При плануванні експерименту використовується поняття математичної моделі об'єкта дослідження, під якою розуміють рівняння, що зв'язує параметр оптимізації y (функцію відгуку) з факторами $(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$. Це рівняння в загальному вигляді може бути записано так:

$$y = \varphi(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n), \quad (2.1)$$

Така функція називається функцією відгуку. Як функції відгуку при проведенні роботи вибрано параметр шорсткості Ra – середнє арифметичне відхилення профілю за ГОСТ 2789-73 (має статус діючого).

Фактором називається змінна величина $(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$, що приймає в деякий момент часу певне значення. Стосовно до даної роботи чинниками є швидкість різання V , подача S і глибина різання t .

Кожен фактор може приймати в досліді одне з декількох значень, які називаються рівнями. Обрані в роботі фактори відповідають наступним вимогам:

1. Керованості, тобто їх можна підтримувати постійними протягом всього досліді;
2. Операційності, тобто відома послідовність дій (операцій), за допомогою яких встановлюються його конкретні значення;
3. Точності, яка досить висока;
4. Однозначності, тобто вони не є функціями інших факторів.

Проведенню експерименту передуює вибір моделі. У даному експерименті обраний алгебраїчний поліном першого ступеня – лінійна модель. Передбачається, що дана модель досить проста та адекватна реальному процесу, тобто здатна передбачати результати експерименту в деякій області з необхідною точністю.

При виборі області експерименту повинні враховуватися межі областей визначення факторів, які в даному випадку залежать від технологічних можливостей верстата, ріжучого інструменту та оброблюваного матеріалу. Далі для кожного фактору необхідно вибрати нульовий рівень, тобто вихідну точку для побудови плану експерименту. Для кожного чинника вибирається два рівні, на яких вони будуть змінюватись в експерименті: верхній і нижній, відповідні, як правило, більшому і меншому значенням фактору.

Інтервалом варіювання факторів називається деяке число (своє для кожного фактору), додаток якого до основного рівня дає верхній, в віднімання – нижній рівень фактору. Для спрощення запису рівні чинника позначають: верхній – $+ I$ (+), нижній – $- I$ (-). Для факторів з безперервною областю визначення це завжди можна зробити за допомогою перетворення:

$$x_i = \frac{X_i - X_{i0}}{\Delta X_i}, \quad (2.2)$$

де x_i – кодовані значення фактору;

X_i – натуральні значення фактору;

X_{i0} – натуральні значення основного рівня;

ΔX_i – інтервал варіювання;

i – номер фактору.

2.2 Обладнання, інструменти та матеріали

Параметри шорсткості поверхонь вимірюють безконтактними методами за допомогою приладів світлового перетину (ПСП), тіньового перетину (ПТП), растрових мікроскопів (ОРВМ) і мікроінтерферометрів (МІ), а також контактними методами за допомогою щупових приладів (профілометрів і профілографів). Промисловістю випускаються профілографи-профілометри

моделей 201; 202; 252; 280; 171311, а також профілометри моделей 253, 283, 296, 170623, які дозволяють вимірювати параметр шорсткості до Ra 0,02...0,04.

Параметри деяких типів приладів наведені у табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Прилади для вимірювання шорсткості

Прилад	Параметри шорсткості поверхні	Межі вимірювання	Базова довжина, мм
Прилад світлового перетину ПСП2	R_z, R_{max}, S, S_m	40÷0,8 мкм 2,5÷0,002 мм	2,5; 0,8; 0,25; 0,08; 0,03; 0,01
Прилад тіньового перетину ПТП-1	R_z, R_{max}, S, S_m	20÷40 мкм 6,3÷0,02 мм	8; 2,5; 0,8; 0,25
Растровий вимірювальний мікроскоп ОРВМ-1	R_z, R_{max}, S, S_m	40÷0,4 мкм	2,5; 0,8; 0,25; 0,08; 0,03; 0,01
Профілограф-профілометр	$R_a, R_z, R_{max}, S, S_m, t_p$	20÷0,003 мкм 100÷0,025 мкм 12,5÷0,003 мм	увесь ряд

Із сучасного обладнання найбільше розповсюдження знайшов інформаційно-вимірювальний комплекс 170623 (далі ІВК). Він призначений для вимірювання і обробки сигналу при аналізі профілю, його візуалізації, проведення вимірювань геометричних розмірів профілю, обчислення параметрів шорсткості, а також запису результатів вимірювань на комп'ютер та роздрукування їх на принтері. Загальний вигляд ІВК моделі 170623 наведено на рис. 2.1.

Принципова блок-схема ІВК 170623 наведена на рис. 2.2. Алмазна голка 1 закріплена на важелі 2, який одночасно є якорем переутворювача. Магнітна система датчика складається із Ш-подібного сердечника 3 та двох катушок 5, які разом із первинною обмоткою трансформатора 7 утворюють вимірювальний балансовий міст із живленням від генератора звукової частоти 6. Алмазна голка 1 при оцупуванні поверхні, яка вимірюється, здійснює коливання разом із важелем 2 відносно опори 4. Коливання важеля змінюють повітряні зазори між ним і сердечниками катушок переутворювача 5, що сприяє пропорційному змінненню напруги на виході трансформатора 7. Отримані змінненя напруги з виходу трансформатора передаються до плати розширення відлікового устрою 10, де підсилюються електронним блоком 8, оцифровуються переутворювачем

9 та потрапляють для обробки на персональний комп'ютер 11 та виводяться на екрані.



Рис. 2.1. Загальний вигляд інформаційно-вимірального комплексу 170623

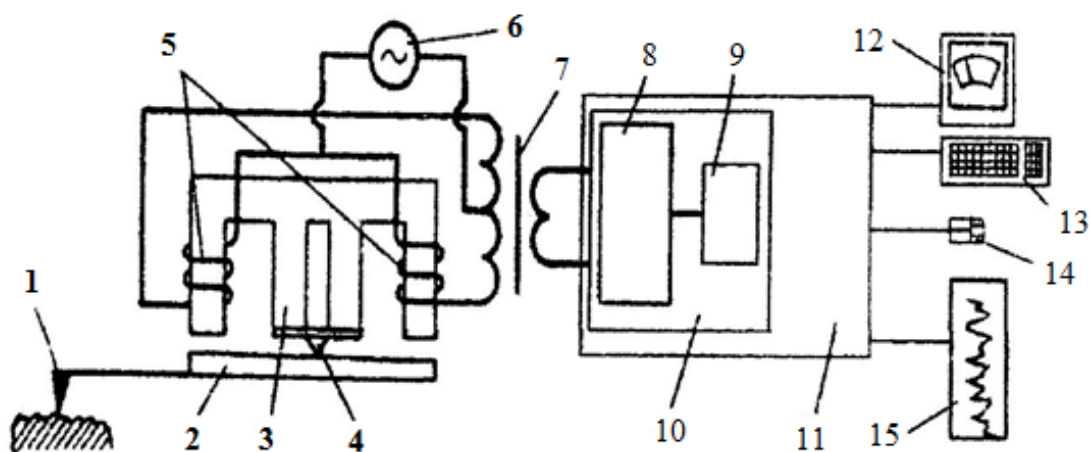


Рис. 2.2. Принципова блок-схема інформаційно-вимірального комплексу 170623

Керування роботою приладу здійснюється за допомогою клавіатури 13 та маніпулятора 14. Також передбачено вивід результатів вимірювання на принтер формату А4. Зразок панелі керування та представлення результатів наведено на рис. 2.3.

У даній лабораторній роботі використовуються:

- токарно-гвинторізний верстат мод. 16К20;
- різець прохідний з твердосплавною пластиною, Т15К6, ГОСТ 21151-75 (має статус діючого);

- заготовки, сталь 45, ДСТУ 7809:2015, 8 шт.;
- інформаційно-вимірвальний комплекс моделі 170623.

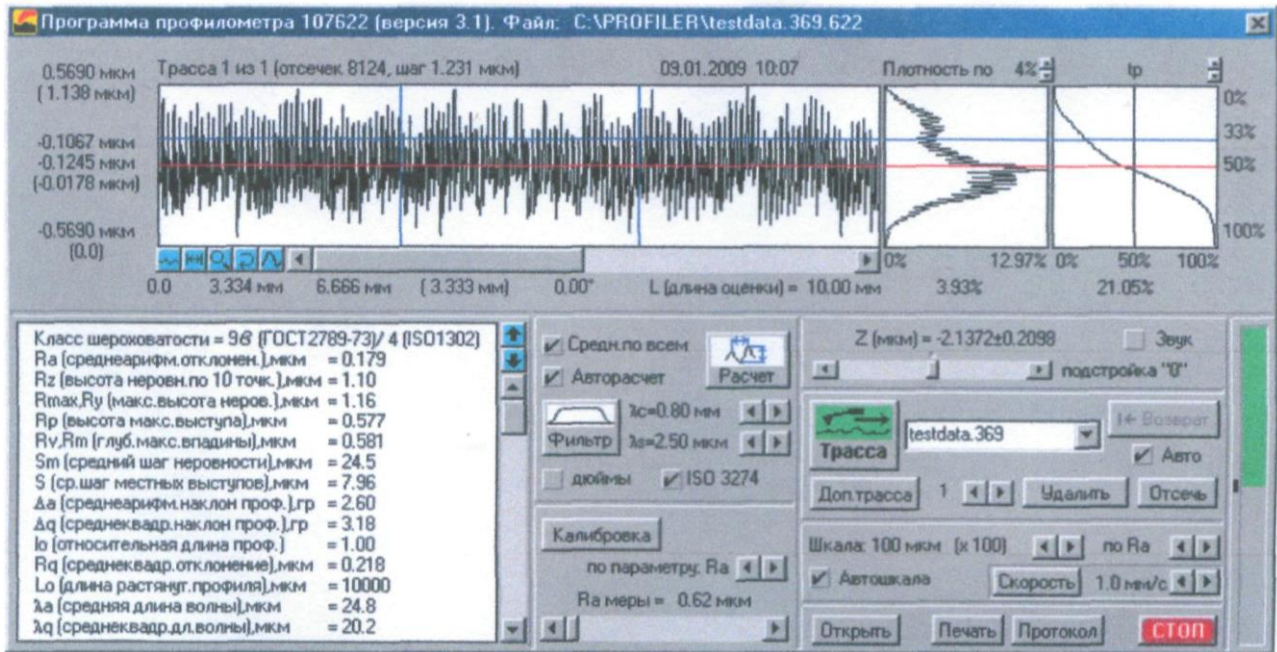


Рис.. 2.3. Панель керування та представлення результатів ІВК 170623

2.3 Основні параметри шорсткості поверхні

Шорсткість поверхні – це сукупність нерівностей з відносно малими кроками, які створюють рельєф поверхні деталі і розглядаються у межах базової довжини L . Поняття шорсткості пов'язано з базовою лінією – довжиною ділянки поверхні, яка вибирається для визначення шорсткості і не враховує нерівності, крок яких більше ніж базова довжина. Числові значення шорсткості рахують від базової лінії, за яку прийнята середня лінія профілю m (рис. 2.4).



Рис. 2.4. Профіль шорсткості поверхні та його характеристики

Номенклатуру і числові значення параметрів і базових довжин, а також типи напрямків нерівностей встановлює ГОСТ 2789-73 (має статус діючого) (табл. 2.2). Значення наведених параметрів шорсткості наводяться на панелі керування та представлення результатів ІВК 170623 (дивись рис. 2.3).

Таблиця 2.2 – Параметри шорсткості поверхні за ГОСТ 2789-73

Найменування параметра шорсткості	Умовні позначення
Середнє арифметичне відхилення профілю	R_A
Висота нерівностей профілю по десятиох точках	R_Z
Найбільша висота поверхонь профілю	R_{max}
Середній шаг нерівностей профілю	S_m
Відносна опорна довжина профілю	t_p

2.4 Планування експерименту та перевірка відтворюваності результатів дослідів

Число факторів прийнято рівним $n = 3$, а число рівнів – 2. Тому загальне число дослідів дорівнює $N = 2^3 = 8$. Умови експерименту запишемо у вигляді таблиці, названої матрицею планування, рядки якої відповідають різним дослідом, а стовпці – значенням факторів. У даній роботі прийняті умови проведення дослідів, зазначені в табл. 2.3.

У табл. 2.4. наведена матриця планування експерименту 2^3 . Основні принципи побудови матриці планування викладені в теоретичному курсі та в літературі, тому тут вони опущені.

Як вже зазначалося, в якості вектора виходу (функції відгуку) прийнята величина Ra . Реалізація матриці планування дозволяє обчислити коефіцієнт рівняння регресії (b_0, b_1, b_2, \dots):

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3. \quad (2.3)$$

Величина коефіцієнта рівняння говорить про силу, а знак – про характер впливу фактору або взаємодії факторів на функцію відгуку.

Таблиця 2.3 – Умови проведення дослідів

Фактори	Швидкість, V , м / хв	Подача, S , мм/об.	Глибина різання, t , мм
<i>Kod</i>	X_1	X_2	X_3
Основний рівень	150	0,1	1
Інтервали варіювання	50	0,03	0,5
Верхній рівень	200	0,13	1,5
Нижній рівень	100	0,07	0,5

Таблиця 2.4 – Матриця планування експерименту 2^3

Номер дослідів	X_0	X_1	X_2	X_3	$X_1 X_2$	$X_1 X_3$	$X_2 X_3$	$X_1 X_2 X_3$	Вектор виходу, y
1	+	+	-	-	+	+	+	-	Y_1
2	+	-	-	-	-	-	+	+	Y_2
3	+	+	+	-	-	+	-	+	Y_3
4	+	-	+	-	+	-	-	-	Y_4
5	+	+	-	+	+	-	-	+	Y_5
6	+	-	-	+	-	+	-	-	Y_6
7	+	+	+	+	-	-	+	-	Y_7
8	+	-	+	+	+	+	+	+	Y_8

Робота виконується в наступному порядку:

1. Заготовка закріплюється в патроні та проводиться установка різця.

2. Вибирається порядок проведення дослідів. З метою виключення впливу систематичних помилок, викликаних зовнішніми умовами, всі досліді проводяться у довільній послідовності (рандомізовано у часі). Для даного випадку порядок проведення дослідів, вибраний за таблицею випадкових чисел, наступний: 2, 3, 7, 8, 1, 4, 5, 6.

3. За табл. 2.3. встановлюється режим, відповідний 2-му досліді матриці планування; тобто фактор x_1 (V) знаходиться на верхньому, а x_2 (S) і x_3 (t) – на нижньому рівні.

Згідно з табл. 2.3. натуральні значення факторів наступні: $V = 200$ м/хв, $S = 0,07$ мм/об і $t = 0,5$ мм. Число обертів розраховується за відомою залежністю і встановлюється на верстаті за найближчим значенням.

$$n = \frac{1000V}{\pi d} \quad (2.4)$$

4. Обробляється заготовка за обраним режимом. Далі встановлюється режим, відповідний 3-му досліді матриці планування, обробляється 2-га заготовка і т. ін. до 8-ї включно.

5. Кожен дослід повторюється тричі.

6. Отримані зразки маркують і встановлюються послідовно на призму ІВК 170623. Проводять вимір шорсткості, дані заносять до протоколу звіту (табл. 2.5).

Таблиця 2.5 – Результати вимірювань шорсткості поверхні

№ досліду	Шорсткість, <i>Ra</i> , мкм			
	Дослід № 1	Дослід № 2	Дослід № 3	Середнє значення
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				

7. Проводиться обчислення середніх арифметичних значень по кожному рядку:

$$\bar{y}_p = \frac{\sum_{K=1}^{\gamma} y_K}{\gamma} \quad (2.5)$$

де *K* – номер паралелі в досліді; *p* – номер досліду; γ – повторність дослідів; *y* – значення виходу.

8. Проводиться обчислення середніх квадратів по кожному рядку:

$$\bar{y}_p^2 = \frac{\sum_{K=1}^{\gamma} y_K^2}{\gamma} \quad (2.6)$$

9. Проводиться обчислення дисперсій

$$\sigma_p^2 = \frac{\sum_{K=1}^{\gamma} (y_K - \bar{y}_p)^2}{\gamma}. \quad (2.7)$$

10. Проводиться порівняння дисперсій і виділення з них максимальної.

11. Проводиться обчислення емпіричного значення критерію Кохрена

$$C_{\varepsilon} = \frac{\sigma_{p\max}^2}{\sum_{p=1}^n \sigma_p^2} \quad (2.8)$$

12. Проводиться порівняння емпіричного і табличного критеріїв (таблиця додатку А, N – число дослідів) Кохрена. Якщо $C_{\varepsilon} < C_{\text{табл}}$, то досліді рівноточні. При невиконанні цієї умови необхідно або збільшити повторність дослідів, або збільшити точність вимірювань.

13. Проводиться обчислення дисперсії відтворюваності

$$\sigma_y^2 = \frac{\sum_{p=1}^n \sigma_p^2}{N} \quad (2.9)$$

14. Проводиться обчислення коефіцієнтів рівняння регресії b_1, b_2, b_3, b_4 :

$$b_i = \frac{\sum_{p=1}^N y_p x_{pi}}{N} \quad (2.10)$$

де i – номер фактору.

15. Проводиться обчислення коефіцієнтів при парних взаємодіях b_{ij} (b_{12}, b_{13}, b_{23}):

$$b_{ij} = \frac{\sum_{p=1}^N \bar{y}_p x_{pi} x_{pj}}{N} \quad (2.11)$$

16. Проводиться обчислення лінійних коефіцієнтів:

$$\sigma_{bi}^2 = \frac{\sigma_y^2}{N} \quad (2.12)$$

17. Проводиться обчислення дисперсії коефіцієнтів при парних взаємодіях:

$$\sigma_{bij}^2 = \frac{\sigma_y^2}{N} \quad (2.13)$$

18. Проводиться обчислення емпіричних критеріїв Стюдента:

$$t_{\Delta i} = \frac{b_i}{\sqrt{\sigma_{bi}^2}} \quad (2.14)$$

19. Проводиться порівняння емпіричного і табличного значення критеріїв Стюдента. Якщо $t_e < t_{табл}$, то даний коефіцієнт незначущий. Значення $t_{табл}$ для певних рівнів значимості і ступенів свободи $f = N - (k + 1)$ наведені в таблиці додатку Б.

20. Проводиться обчислення квадрата середнього значення виходу:

$$B_0 = b_0^2 \quad (2.15)$$

21. Проводиться обчислення числа ступенів свободи дисперсій адекватності:

$$f_1 = N - K, \quad (2.16)$$

де K – число значущих коефіцієнтів, включаючи b_0 .

22. Проводиться обчислення дисперсій адекватності:

$$\sigma_{ад}^2 = \frac{1}{N-K} \left[\sum y_p^2 - Nb_0 - \sum b_{ij}^2 - N(\sum b_i)^2 \right] \quad (2.17)$$

23. Проводиться обчислення емпіричного значення критерію Фішера:

$$F_{\text{э}} = \frac{\sigma_{ад}^2}{\sigma_y^2} \quad (2.18)$$

24. Проводиться порівняння емпіричного і табличного значення критеріїв Фішера. Якщо $F_e > F_{табл.}$, то отримана модель адекватно відображає функцію виходу. В іншому випадку необхідно перейти до використання полінома більш високого порядку або ввести додаткові змінні. Значення $F_{табл.}$ для рівня значущості $\alpha = 0,03$ наведені в таблиці додатку В.

25. У протокол звіту записується вид отриманої математичної моделі, оформляється звіт по роботі, записуються висновки за результатами експерименту.

2.5 Порядок виконання лабораторної роботи

2.5.1. Ознайомитися і кратко занотувати відомості про методи вимірювання шорсткості.

2.5.2. Підібрати режими різання та скласти план експерименту.

2.5.3. Обробити різанням заготовки згідно з планом експерименту та підготувати зразки для вимірювання шорсткості.

2.5.4. Провести вимірювання та внести результати до таблиці 2.5.

2.5.5. Провести перевірку відтворюваності дослідів за допомогою критерію Кохрена.

2.5.6. Розрахувати коефіцієнти та отримати математичну модель і дати пояснення.

2.5.7. Перевірити адекватність моделі за допомогою критеріїв Стьюдента та Фішера.

2.5.8. Зробити висновок.

Запитання для самоперевірки

1. Сутність методики планування експерименту.
2. Надайте визначення основним поняттям, які використовуються при плануванні експерименту (об'єкт дослідження, функція відгуку, фактор, інтервал варіювання).
3. Назвіть обладнання, інструмент та матеріали, які використовуються при виконанні лабораторної роботи.
4. Що таке шорсткість поверхні ?
5. Назвіть основні параметри шорсткості поверхні.
6. Методика планування експерименту.
7. Методика перевірки відтворюваності результатів дослідів.
8. Порядок виконання лабораторної роботи.

3. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

Тензометричний метод вимірювання напружень

Мета роботи: засвоїти методику вимірювання напружень, які виникають у вузлах машин і апаратів, за допомогою тензометричного методу.

3.1 Теоретична частина

В основу електричних вимірювань неелектричної величини покладений принцип перетворення її у величину електричну, яка може бути виміряна звичайними засобами електровимірювальної техніки.

Будь-яка електрична схема вимірювань неелектричних величин представляє собою комплекс електричних приладів та обладнання різного призначення. Якою складною не була б ця схема, в ній завжди можливо виділити чотири основні вузли: сприймаючий і перетворюючий елемент – датчик, вимірювальний ланцюг, вимірювальний прилад та джерело струму.

Шлях, що проходить електричний сигнал в процесі свого перетворення, називають вимірювальним трактом, вимірювальним каналом або каналом інформації.

Найбільш важливим вузлом, з якого починається вимірювальний канал, являється датчик, що являє собою устрій, сприймаючий діючу на нього вимірювану величину і перетворюючий її в електричну величину. Залежно від принципу дії і конструктивних особливостей, датчик може розташовуватись поблизу від досліджуваного об'єкта або знаходитись з ним в тісному контакті.

Кінцевим елементом вимірювального каналу є вимірник – прилад, що відображає вимірювану величину. Вимірювачем може бути звичайний показуваний електровимірювальний прилад (гальванометр, міліамперметр, мілівольтметр та ін.) зі шкалою, проградуєваною в одиницях вимірюваної неелектричної величини, або реєструвальний прилад (самописець, світлопроменевий або електронний осцилограф, магнітограф та ін.).

Якщо датчик видав дуже слабкий сигнал, то така схема вимірювань потребує додаткового приладу – підсилювача, що приводить до відповідного ускладнення схеми.

В техніці вимірювань механічних величин важливе місце займає напрям, який називається тензометрією. Історія її виникнення відноситься до другої половини XIX віку, коли в зв'язку із зародженням і розвитком теорії пружності та опору матеріалів, з'явилась необхідність у створенні спеціальних приладів для безпосереднього вимірювання деформації твердих тіл, яка виникає під дією зовнішніх та внутрішніх сил. Ці прилади почали називати тензографами.

В наш час найбільше розповсюдження отримали електричні тензометричні прилади для вимірювання відносної деформації на відповідних ділянках твердого тіла. Складається тензограф із трьох основних частин: тензодатчика, підсилювача та вимірювального приладу.

Серед існуючих електротензографів найбільш широке поширення отримали електротензографи активного опору, ґрунтовані на застосуванні електричного опору чутливого елемента під дією вимірювальної деформації. Зміну питомого опору провідникових матеріалів під дією розтягувальних або стискаючих деформацій назвали тензорезистивним ефектом.

Коефіцієнт тензочутливості різних марок високоомного дроту лежить у межах $1,9 \div 2,9$.

Цінні властивості дроту, як тензочутливого матеріалу, знайшли практичне застосування порівняно нещодавно (1937 рік). Дротовий тензорезистор широкого застосування являє собою плоску петлеподібну дротову обмотку

прямокутної форми (решітку) до кінців якої припаяні або приварені відносно товсті виводи з мідного луженого дроту або фольги. Дротова решітка за допомогою спеціального клею закріплюється на тонкій прямокутній полосці з паперу, клейовій або лаковій плівці, яка служить для неї основою (підложкою).

Згідно з рис. 3.1 дротовий тензорезистор включає чотири складові частини: чутливий елемент – дротова решітка, виводи, основу та клейовий шар.

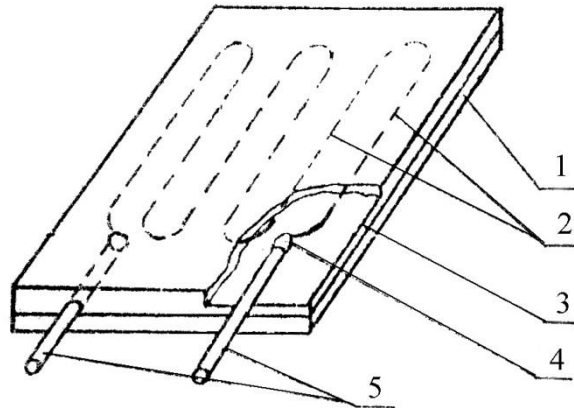


Рис. 3.1. Конструкція петлевого дротового тензорезистора:

1 – основа (папір); 2 – дротові нитки чутливої решітки; 3 – шар клею; 4 – місце пайки; 5 – виводи провідників

Матеріал дроту повинен відповідати наступним вимогам: мати великий питомий опір, володіти високою чутливістю та стабільністю до деформації, зміна опору, яка визнана деформацією, повинна підпорядковуватись лінійному закону в достатньо широкому діапазоні; бути нечутливим до впливу температури; температурні коефіцієнти лінійного розширення матеріалу дроту та матеріалу досліджуваної деталі, на яку наклеюється тензорезистор, повинні бути рівними, або незначно відрізнятись. В протилежному випадку зміна температури буде визивати похибки при вимірюванні деформацій. Цим вимогам, в найбільшій мірі, відповідають мідно-нікелеві сплави (константан), ніхроми.

Константанові тензорезистори можуть застосовуватись при температурах до 473 К, а для роботи в умовах високих температур (до 1173 К) дротова решітка виробляється з ніхромом. Промисловістю випускаються дротові тензорезистори на паперовій, плівковій та металічній основах. Крім дротових випускаються також фольгові та напівпровідникові тензорезистори. У фольгового тензорезистора чутлива решітка виготовлена з дуже тонкої (товщина 2÷10 мкм) константанової фольги. Конфігурацію чутливої решітки

отримують за допомогою світлочутливої емульсії та травильної кислоти.

Для напівпровідникових тензорезисторів характерним є надзвичайно високий тензорезистивний ефект при мініатюрних розмірах чутливого кристалу.

3.2 Методика наклейки та з'єднання тензорезисторів

Як відомо, в основу принципу роботи тензорезистора покладена передача деформації від досліджуваної деталі до ниток чутливої решітки через шар клею. По деформації тензочутливого елемента судять про деформацію деталі, тому вірогідність результатів вимірювань залежить від того, наскільки правильно передається деформація від деталі до тензорезистора.

Якість клейового з'єднання являється одним із вирішальних факторів, який визначає поведінку наклеєного тензорезистора та його властивості. Такі характеристики, як тензочутливість, "повзучість", лінійність, гістерезис, опір ізоляції, зв'язок тензочутливості з температурою, "дрейф нуля" та строк служби наклеєного тензорезистора, знаходяться в прямій залежності від клейового з'єднання. Тому в практиці електротензометрії питанням вибору клею для тензорезисторів та технології їх наклейки надається важливе значення.

Серед великої кількості клеїв для наклеювання тензорезисторів найбільше поширення одержали клей БФ-2 та БФ-4, які при нормальній температурі забезпечують високоміцне з'єднання склеюваних матеріалів, володіють задовільною вологостійкістю, морозостійкістю, вібростійкістю та добре протистоять дії бензину, мастил та інших агресивних середовищ. Клей БФ-2 більш термостійкий чим клей БФ-4 (максимальна робоча температура 353 К) і здатний протистояти дії кислих середовищ (до 20% концентрації). Максимальна температура полімеризації 453÷473 К.

Технологічний процес наклеювання тензорезисторів складається із наступних операцій:

1. Вибір та перевірка тензорезисторів.
2. Підготовка поверхні деталі.
3. Вибір клею та наклейка тензорезисторів на деталь.
4. Термообробка наклеєних тензорезисторів.

5. Контроль якості наклейки тензорезисторів та їх герметизація.

Після наклеювання тензорезисторів їх підключають у вимірювальну схему. Як відомо, тензорезистор сприяє вимірюванню деформації та перетворює їх в відповідні зміни свого електричного опору. З цією метою тензорезистор включають в електричну вимірювальну схему, яка здібна проводити такі перетворення. В електротензометрії найбільше поширення одержала чотирьохплечова мостова схема вимірювання. Вона являє собою сполучення замкнутого контуру, зібраного з чотирьох послідовно з'єднаних тензорезисторів. Вимірювальний міст прийнято відображати у вигляді ромба (рис. 3.2), сторони якого зветься плечами, а точки з'єднання плечей – вершинами або вузлами моста. В одну із діагоналей моста включають джерело струму (діагональ живлення), а до другої діагоналі включають вимірювач і називають її вимірювальною діагоналлю. Залежно від струму, яким живиться міст, розрізняють мости постійного та змінного струму.

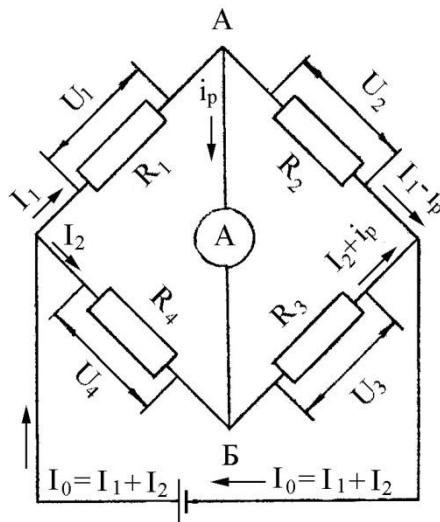


Рис. 3.2. Мостова схема з'єднання тензорезисторів

Для вимірювання електричного опору використовують дуже важливу властивість моста: при відповідному співвідношенні опорів плечей (коли $R_1 \cdot R_3 = R_2 \cdot R_4$) напруга на його виході стає рівною нулю, не дивлячись на наявність напруги електричного струму на вході. Становище електричної рівноваги дуже легко порушується при самій незначній зміні приведенного співвідношення. Таким чином, електровимірювальний міст може знаходитись в одному з двох положень: рівноважному та нерівноважному. Якщо величина струму у вимірювальній діагоналлі дорівнює нулю, то такий міст називається рівноважним або збалансованим.

Аналізуючи схему вимірювального моста (рис. 3.2), на якій показані напрямки струму в плечах, неважко розібратись, що різниця потенціалів між точками А і Б буде дорівнювати нулю при умові, що напруга в кожній парі суміжних плечей, симетричних відносно вимірювальної діагоналі (тобто R_1 , R_4 та R_2 , R_3), дорівнює між собою по величині та протилежна по напрямку, тобто коли

$$U_1 = U_4 = I_1 \cdot R_1 = I_4 \cdot R_4;$$

$$U_2 = U_3 = I_2 \cdot R_2 = I_3 \cdot R_3$$

Розділивши першу рівність на другу та провівши скорочення, одержимо

$$R_1 \cdot R_3 = R_2 \cdot R_4$$

Дана рівність є основною умовою для рівноваги моста.

Загальні правила, яких потрібно дотримуватись при наклеїці та включенні тензорезисторів в мостову схему, полягають в наступному:

1. Для кожного моста (каналу) повинні бути підібрані тензорезистори з однаковими параметрами, тобто вони повинні належати до однієї групи партії. Повний тензоміст повинен бути тільки рівноплечим;

2. При наклеїці на деталь тензорезистор повинен бути орієнтований таким чином, щоб його чутливий елемент піддавався максимальному розтягненню або стисненню, іншими словами, ось бази тензорезистора повинна співпадати з головною оссю головної деформації;

3. Тензорезистори з однаковими знаками прирощення електричного опору повинні включатись в протилежні плечі моста, а з різними - в суміжні плечі.

На рис. 3.3 наведені різні варіанти розміщення тензорезисторів на поверхні деталі та схеми включення в плечі моста при вимірюванні деформації.

Найбільш чутливий варіант розміщення тензорезисторів відображений на рис. 3.3, г. При виборі розмірів балки необхідно керуватись наступними міркуваннями:

- першим основним критерієм служить відносна деформація, максимальне значення якої не повинно виходити за межі пружного стану матеріалу. Для легованих сталей $\epsilon_{max} = 2000 \div 3000$ мкм/м або $0,002 \div 0,003$ відносних одиниць;

- другим важливим критерієм є максимально допустимий прогин.

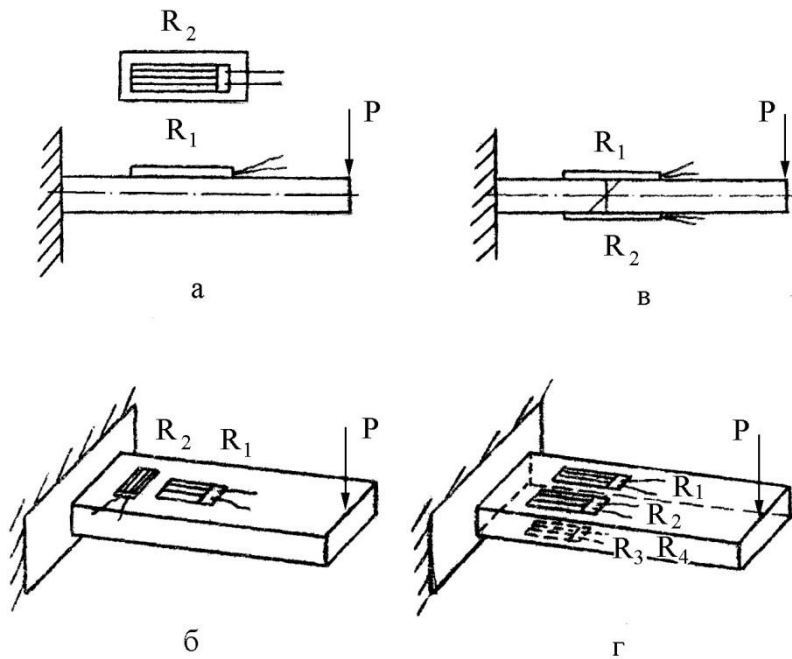


Рис. 3.3. Схеми розташування тензорезисторів

При збільшенні довжини балки L значення прогину, необхідного для виникнення однієї і тієї ж деформації, зростає пропорційно квадрату L . Чим більший прогин, тим більше відносне зменшення плеча сили, прикладеної до вільного кінця балки. З цього випливає, що допустима похибка вимірювань досліджуваної величини залежить від відношення f / L . Так наприклад, приблизна величина похибки при $f / L = 0,1$ складає 1% , при $f / L = 0,2$ похибка буде 2% , а при $f / L = 0,5$ доходить до 10% ;

– ширина балки повинна бути підібрана так, щоб на обох її площинах могли розміститись всі тензорезистори.

Середня величина деформації, вимірювана одним тензорезистором в місці його наклейки, може бути визначена за допомогою наступної формули:

$$\varepsilon = \frac{59 P \cdot l}{E \cdot b \cdot h^2}, \quad (3.1)$$

де P – величина зовнішньої сили, Н;

l – відстань від точки прикладення сили до середини решітки тензорезистору, мм

b, h, f – ширина, товщина та прогин балки, мм.

Прогин балки знаходять:

$$f = \frac{3,9 P}{E \cdot b} \left(\frac{l}{h} \right)^3, \quad (3.2)$$

3.3 Прилади для підсилення тензометричного сигналу

Призначення тензопідсилювачей полягає у тому, щоб підвищити потужність сигналу на виході тензомоста, без зміни його форми. Найбільш поширеними марками тензометричних підсилювачів являються 8АНЧ-7М, ТА5, УТЧ-1, УТ-8, УТС 1-ВТ-12, ТОПАЗ-1 та ТОПАЗ-2. Вони призначаються для роботи в схемах замірів як статичних так і динамічних деформацій.

3.4 Порядок виконання лабораторної роботи

3.4.1. Зібрати схему електротензометричних вимірювань відносних деформацій балки рівного опору, як показано на рис. 3.4.

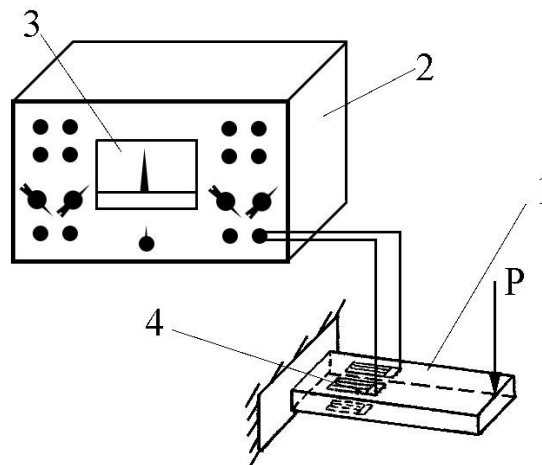


Рис. 3.4. Схема електротензометричних вимірювань: 1 – тензометрична балочка;

2 – тензометричний підсилювач; 3 – міліамперметр; 4 – тензорезистори

3.4.2. Налаштувати прилад та врівноважити мостову (напівмостову схему) з'єднання тензорезисторів.

3.4.3. Одержати залежність показників тензопідсилювача від навантаження.

3.4.4. За величиною навантаження та розмірами балки розрахувати відносну деформацію балки, величину напруження в зоні наклейки тензорезисторів та прогин балки.

3.4.5. Побудувати графічну залежність між величиною навантаження тензобалки та напруженнями, деформацією, та прогином ($\epsilon = f(P)$, $\sigma = f(P)$, $f = f(P)$).

3.4.6. Результати занести до таблиці.

Результати вимірювань

№ з/п	Величина навантаження, P , Н	Розміри балки, м			Показання тензопідсилювача	Відносна деформ., ϵ	Напруження, σ , Н/м ²	Прогин балки, f , мм
		l	b	h				

3.4.7. Зробити висновок.

Запитання для самоперевірки

1. Що таке тензометрія ?
2. Назвіть основні складові тензометрів.
3. Що представляє собою дрововий тензорезистор ?
4. Які матеріали дроту використовують у тензорезисторах ?
5. Методика наклейки та з'єднання тензорезисторів.
6. Як працює мостова схема з'єднання тензорезисторів ?
7. Основні схеми розташування тензорезисторів.
8. Порядок виконання лабораторної роботи.

4. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

Вимірювання температур у машинобудуванні

Мета роботи: засвоїти методику вимірювання температур у машинобудуванні

4.1 Теоретична частина

Сучасна термодинаміка визначає температуру, як величину, яка показує стан внутрішнього руху врівноваженої макроскопічної системи і яка визначається внутрішньою енергією та зовнішніми параметрами системи. Температуру неможливо виміряти безпосередньо, можливо тільки судити о температурі щодо змінення зовнішніх параметрів, які викликані порушенням рівноважного стану завдяки теплообміну з іншими тілами.

Вихідним еталоном температури є комплекс виготовлених у різних країнах світу газових термометрів, за показаннями яких визначаються чисельні значення реперних точок відносно до точки кипіння хімічно чистої води при зовнішньому тиску 101325 Па, температура якої прийнята рівною 100°C (373, 15 К точно).

Залежно від величини температури використовуються різні методики та прилади для вимірювання температури. Весь температурний діапазон перекривається сім'ю шкалами, для відтворення яких використовуються різні методики: від 1,5 до 4 К – вимірювання тиску парів гелію-4, від 4,2 до 13,8 К – германієві терморезистори, від 13,8 до 273,16 К і від 273, 16 до 903, 89 К – платинові терморезистори та термопари, від 903 до 1337,58 – термопари платиноводій-платина, від 1337,58 до 2800 К – температурні лампи і від 2800 до 100000 К – спектральні методи.

4.1.1 Методи вимірювання наднизьких температур

До наднизьких температур відносяться температури, які ми отримуємо за допомогою рідкого гелію (температура кипіння 4 К). Специфіка методів вимірювання температури обмежує цей діапазон значеннями від 0 до 10 К.

Так для вимірювання температур від 1 до 4 К використовуються терморезистори із фосфористої бронзи і включенням свинцю. Свинець при температурі приблизно 4 К переходить у стан зверхпровідності та його опір змінюється. Такі тензорезистори мають максимальну чутливість при температурах від 1,5 до 4 К, але їх показання залежать від величини робочої сили струму, який проходить через терморезистор, і зовнішніх магнітних полів.

Для вимірювання температур нижче 1 К використовуються методи магнітної термометрії, які засновані на залежності об'ємного магнітного сприйняття ряду парамагнітних солей від абсолютної температури. Термометр, який працює за цим принципу, це котушка індуктивності, всередині якої знаходиться образчик з міднокалієвими чи залізоалюмінієвими квасцями. Котушка під'єднається до мостової схеми, і змінення температури, яке визиває змінення об'ємного магнітного сприйняття образчика, призведе до змінення індуктивності котушки, пропорційно зміненню температури.

Для вимірювання температури вище 4 К використовуються термошумові термометри. Вони використовуються для вимірювання температур до 1300 К. Основною складністю при вимірюванні наднизьких температур є точність методик градуювання та тарування апаратури, яка використовується.

4.1.2 Методи вимірювання низьких температур

Звичайно у поняття низьких температур входять температури від 10 до 800 К. Для їх вимірювання використовуються металеві та напівпровідникові терморезистори, термопари чи термобатареї. Достатньо високу точність при вимірюванні низьких температур можливо досягнути за допомогою вимірювання “шумів”. Практично цей метод оснований на зрівнянні шумів ідентичних резисторів, один з яких знаходиться при відомій, а другий при температурі, яку вимірюють. Порівняння шумів резисторів робиться наступними методами: або за величиною шумового напруження (підсиленого та випрямленого), якщо рівень шумів високий (цей метод використовується при температурах вище 500 К), або за кількістю шумових імпульсів – для більш низьких температур. В першому випадку датчики термометра виконуються з платинової проволочки діаметром 2,5 мкм та платиновим екраном товщиною 50 мкм у кварцовій оболонці. Використання такого термометра дозволяє проводити досить точні вимірювання температури (похибка вимірювань для 1000К приблизно 1%). У другому випадку датчиком є резистор типа УЛІ, МЛТ чи БЛП.

4.1.3 Методи вимірювання середніх і високих температур

Середніми температурами є температури від 773 до 1873 К, а високими від 1873 до 2773 К, до яких можливо застосовувати термоелектричний метод з використанням високотемпературних, жаростійких матеріалів. Термоелектричний метод полягає у явищі виникнення термоелектрики. Термоелектрика виникає, коли з'єднати два різнорідних провідника між собою на кінці (рис. 4.1,а) і зробити різні температури на кінцях провідника. При цьому в з'єднанні виникає термо Е.Д.С., яка показує різницю функцій температур у місцях з'єднання провідників. Подібне з'єднання має назву термоелектричний перетворювач, чи термопара; провідники, які складають термопару – термоелектродами, а місце їх з'єднання – спаями. Якщо приєднати до термопари вольтметр (рис. 4.1,б), то можна фіксувати змінення напруги при змінненні температури робочого спаю.

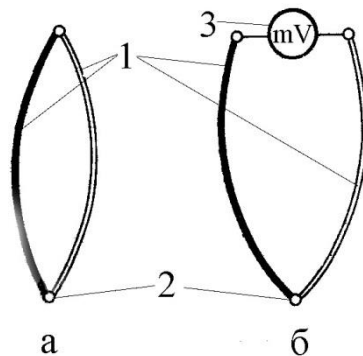


Рис. 4.1. – Створення термопари: а – термопара; б – термопара з фіксуючим пристроєм

1 – термоелектроди; 2 – спаї; 3 – вольтметр

2

За змінненям напруги можливо, за допомогою тарувальних графів, визначати температуру середовища, у якому знаходиться спай термопари.

Основною складністю при використанні термопар є захист термоелектродів від руйнівної дії високих температур та активного середовища. Для цього на термопари одягається захисна арматура. Головна вимога до захисної арматури – є висока щільність будови і температурна стійкість. При вимірюванні температур нижче 1573 К використовуються фарфорові чохла, при більш високих температурах – ковпачки з тугоплавких металів (такі, як корунд, окиси алюмінію, берилію чи торія), заповнені інертним газом.

4.1.4 Безконтактні методи вимірювання температури

Безконтактні методи засновані на законах теплового випромінювання і мають ряд переваг. Вони не потребують введення датчика у вимірювальне середовище, тому вимірювання температури не впливає на термометр, який не руйнується у агресивному середовищі чи під дією високих температур. Крім того ці методи характеризуються дуже невеликою тепловою інерційністю, яка досягає тисячних часток секунди.

4.1.5 Вимірювання температур на поверхнях тертя

При терті, внаслідок трибофізичної та трибохімічної взаємодії, вивільняється вільна енергія, яка частково переходить у теплову. Причому температура на окремих місцях контакту може досягати температури плавлення та деструкції матеріалів пари тертя. Це, у багатьох випадках, негативно впливає на надійність та довговічність при терті в цілому. Виміряти температури на поверхні тертя можливо як контактним, так і безконтактним методом. У більшості випадків на виробництві використовують термопари та терморезистори. Складність у використанні термопар і терморезисторів для вимірювання температури вузлів тертя полягає у тому, що вони інерційні і показують фактичну температуру поверхні тільки тоді, коли вона стає рівною об'ємній температурі робочої головки струмоприймача (наприклад, головки термопари). Тому використовують термопари, форму і розміри головки яких постійно змінюють у залежності від умов використання. На рис. 4.2 наведені типові форми головок термопари.

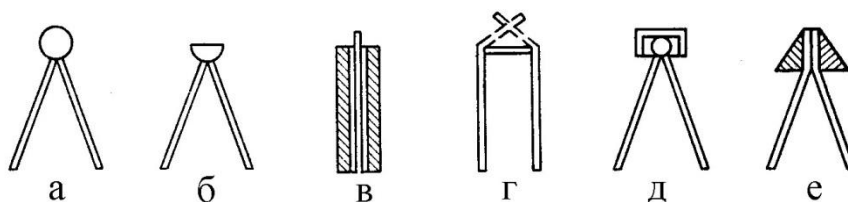


Рис. 4.2. Типові форми гарячого спаю термопари:

а – класична (шарова) головка; б – напівшарова головка (з підвищеною поверхнею контакту); в – трубчата; г – плівкова, яка створена при розплющуванні двох електродів; д – капсула (електроди приварені ударно-контактною зваркою); е – пластинчасто-плівкова головка

До вимірювання теплоелемент потрібно протарувати та перевірити. Тарировка полягає у визначенні залежності між ціною поділки показника на фіксуєчому приборі та реальною температурою, яку вимірюють. На практиці для тарування в якості температури холодного спаю використовується температура плавлення льоду (273 К), а опорними точками для гарячого спаю служать температури плавлення металів, наприклад кадмію (594,108 К), цинку (692,580 К) та температура кипіння води (373 К). При вимірюванні невисоких температур тарувальний графік для термопар – як правило має лінійну залежність.

4.1.6 Вимірювання температур у зоні різання

У процесі різання теплові явища відіграють важливу роль. Саме вони визначають температуру у зоні різання, що безпосередньо впливає на характер пластичної деформації при утворенні стружки, наріст, усадку стружки, сили різання і мікроструктуру поверхневого шару. Ще більш істотно впливає температура різання на інтенсивність зношування інструмента та на його період стійкості.

Використовувані на цей час експериментальні методи дослідження теплових процесів у зоні різання надзвичайно різноманітні і завдяки їхній надійності та простоті є основним методом дослідження. З їх допомогою можна визначити кількість виділеної теплоти, її розподіл між стружкою, заготовкою та інструментом; температуру контактних площадок інструмента; температурні поля у зоні деформації і різальному лезі інструмента.

Серед експериментальних методів дослідження теплових процесів при різанні найбільше розповсюдження знайшли калориметричний метод, метод плавких плівок, метод термофарб, метод термопар.

Найпоширенішим є метод термопар.

Метод термопар полягає у тім, що, якщо нагріти місце спаю двох провідників з різних металів, залишаючи при цьому вільні кінці при більш низькій температурі, на останніх виникає термо-ЕРС (ТЕРС), що залежить від різниці температур спаю і більш холодних кінців. Замикаючи ланцюг через

мілівольтметр, можна виміряти термо-ЕРС. Такий ланцюг називається термоелектричним. Схема вимірювання наведена на рис. 4.3.

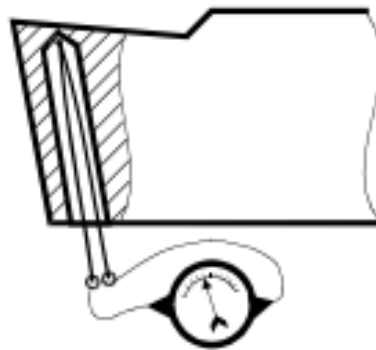


Рис. 4.3. Схема вимірювання температури в зоні різання методом термопар

4.2 Порядок виконання лабораторної роботи

1. Ознайомитись з устроєм термопари та фіксуючого пристрою.
2. За допомогою наведених методик протарувати термопару.
3. Побудувати тарувальний графік залежності реальної температури від температури, яку показує фіксуючий пристрій термопари.
4. Провести експеримент щодо вимірювання температури в зоні різання (рис. 4.3) при різних вихідних умовах (зміні швидкостей v , величини подач s та глибини різання t).
5. Результати занести до таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Результати вимірювань

№ п/п	Місце вимірювання температури	Умови вимірювань	Показання індикатора, з'єданого з термопарою	Реальна температура, °С

6 За отриманими результатами побудувати графіки залежностей температури в зоні різання від зміни швидкостей v , величини подач s та глибини різання t ($T = f(v)$, $T = f(s)$, $T = f(t)$).

7. Зробити висновок.

Запитання для самоперевірки

1. Методи вимірювання наднизьких та низьких температур.
2. Методи вимірювання середніх і високих температур.
3. Вимірювання температур на поверхнях тертя.
4. Вимірювання температур у зоні різання.
5. Порядок виконання лабораторної роботи.

5. ПРАКТИЧНА РОБОТА № 5

Перевірка відтворюваності експериментів

Мета роботи: перевірити відтворюваність експерименту за допомогою математичних методів.

5.1 Теоретична частина

Перш ніж приступити до планування експерименту, потрібно впевнитися в тому, що досліди відтворювані. Для цього проводять декілька серій паралельних дослідів в області вимірювання, що розглядається, впливаючих факторів. Результати цих дослідів заносять в таблицю (табл. 5.1).

Таблиця 5.1 – Експеримент для перевірки відтворюваності дослідів

Номер серії дослідів	Результати паралельних дослідів				\bar{y}_j	S^2_j
1	y_{11}	y_{12}	...	y_{1k}	\bar{y}_1	S^2_1
2	y_{21}	y_{22}	...	y_{2k}	\bar{y}_2	S^2_2
3	y_{31}	y_{32}	...	y_{3k}	\bar{y}_3	S^2_3
...
j	y_{j1}	y_{j2}	...	y_{jk}	\bar{y}_j	S^2_j
...
N	y_{N1}	y_{N2}	...	y_{Nk}	\bar{y}_N	S^2_N

Для кожної серії паралельних дослідів вираховують середнє арифметичне значення функції відгуку:

$$\hat{y}_j = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k y_{ji} \quad (j=1,2,\dots,N), \quad (5.1)$$

де k – число паралельних дослідів, проведених при однакових умовах.

Зазвичай N і k беруть від 2 до 4.

Потім вираховують оцінку дисперсії для кожної серії паралельних дослідів:

$$S_j^2 = \frac{1}{k-1} \sum_{i=1}^k (y_{ji} - \hat{y}_j)^2, \quad (5.2)$$

Для перевірки відтворюваності дослідів знаходять відношення найбільшої з оцінок дисперсій до суми всіх оцінок дисперсій:

$$G_p = \frac{\max S_j^2}{\sum_{j=1}^N S_j^2}, \quad (5.3)$$

Ця величина називається розрахунковим значенням критерію Кохрена.

Значення критерію Кохрена G наведені в додатку А. Вони відповідають довірчій вірогідності $P=0,95$, з якої приймається гіпотеза щодо відтворюваності дослідів.

Величина $\alpha = 1 - P$ називається рівнем значимості.

Для знаходження G необхідно знати загальну кількість оцінок дисперсій N і число ступенів свободи f , пов'язаних з кожною з них, причому $f = k-1$.

Якщо виконується умова

$$G_p \leq G_{табл}, \quad (5.4)$$

досліди вважаються відтворюваними, а оцінки дисперсій – однорідними.

Якщо досліди невідтворювані, можна спробувати досягнути відтворюваності виявленням і усуненням джерел нестабільності експерименту, а також використанням більш точних методів і засобів вимірювання.

Якщо ніякими способами неможливо досягнути відтворюваності, то математичні методи планування в такому експерименті використовувати недоцільно.

Приклад:

Потрібно перевірити відтворюваність експерименту щодо визначення тангенційного зусилля різання P_z при чистовому точінні заготовки зі сталі 45 ($\sigma_s = 700$ МПа) різцем прохідним з твердосплавною пластиною Т30К4 на токарно-гвинторізному верстаті моделі 16К20. Після проведення досліджень отримали такі результати (табл. 5.3).

Таблиця 5.3 – Результати дослідження щодо визначення тангенціального зусилля різання P_z

Номер серії дослідів	Умови дослідів			Значення тангенціального зусилля різання P_z , Н		
	швидкість різання, v , мм/хв	подача, S , мм/об	довжина шляху різання, L , м			
1	150	0,08	1000	115,9	115,3	113,7
2	200	0,08	1000	116,5	116,0	114,9
3	150	0,12	1000	119	121,2	120,6
4	200	0,12	1000	123,8	125,1	124,2

Спочатку для кожної серії паралельних дослідів вираховуємо середнє арифметичне значення функції відгуку

$$\bar{y}_1 = \frac{115,9+115,3+113,7}{3} = 114,97$$

$$\bar{y}_2 = \frac{116,5+116,0+114,9}{3} = 115,8$$

$$\bar{y}_3 = \frac{119+121,2+120,6}{3} = 120,26$$

$$\bar{y}_4 = \frac{123,8+125,1+124,2}{3} = 124,37$$

Потім вираховуємо оцінку дисперсії для кожної серії паралельних дослідів:

$$S_1^2 = \frac{1}{3-1} [(115,9 - 114,97)^2 + (115,3 - 114,97)^2 + (113,7 - 114,97)^2] = 1,293,$$

$$S_2^2 = \frac{1}{3-1} [(116,5 - 115,8)^2 + (116,0 - 115,8)^2 + (114,9 - 115,8)^2] = 0,67$$

$$S_3^2 = \frac{1}{3-1} [(119,0 - 120,27)^2 + (121,2 - 120,27)^2 + (120,6 - 120,27)^2] = 1,3$$

$$S_4^2 = \frac{1}{3-1} [(123,8 - 124,37)^2 + (125,1 - 124,37)^2 + (124,2 - 124,37)^2] = 0,443$$

Далі для перевірки відтворюваності дослідів знаходимо відношення найбільшої з оцінок дисперсій до суми всіх оцінок дисперсій:

$$G_p = \frac{1,3}{1,293+0,67+1,3+0,443} = 0,35.$$

Відповідне значення критерію Кохрена $G = 0,768$ (для значень параметрів $P = 0,95$; $N = 4$; $f = k - 1 = 3 - 1$) знаходимо в додатку А. Порівнюючи його з розрахованим визначаємо, що вимога $G_p \leq G_{табл}$ виконана ($0,35 \leq 0,768$), тому, експеримент є відтворюваним.

Завдання: перевірити відтворюваність експерименту за допомогою математичних методів для таких значень P_z для попередніх умов дослідів:

N	I			II			III			IV		
1	115	114	112	113	114	115	112,5	114,9	113,2	113,3	114,1	114,8
2	114,1	115,1	116,1	115,2	114,2	116,2	116,3	114,3	115,3	115,4	116,4	114,4
3	118,1	119,9	120,2	119,7	120,4	121,9	119,5	118,2	120,6	120,8	119,4	121,7
4	123,9	124,7	125,5	124,8	123,6	125,5	125,7	123,8	124,7	124,2	125,6	123,3
N	V			VI			VII			VIII		
1	112,3	114,7	113,1	112,8	115,1	113,7	114,5	115,1	113,9	112,8	112,3	114,4
2	116,5	115,5	115,9	114,5	114,9	115,6	116,6	115,7	115,1	115,8	116,7	114,1
3	120,7	119,3	118,3	121,5	120,9	119,2	119,1	119,9	120,5	121,1	118,2	118,8
4	125,1	124,2	124,4	123,1	123,5	124,4	125,3	124,2	124,7	124,3	125,5	123,7

Запитання для самоперевірки

1. Мета роботи.
2. Методика перевірки відтворюваності експериментів.

6. ПРАКТИЧНА РОБОТА № 6

Повний факторний експеримент

Мета роботи: *Спланувати експеримент та отримати рівняння регресії для описання процесу*

6.1 Теоретична частина

Серія дослідів, в яких реалізовані всі можливі комбінації рівнів, називається **повним факторним експериментом**. Таблиця, яка містить перелік всіх рівнів повного факторного експерименту, називається **матрицею планування**. Матриця планування для повного факторного експерименту типу 2^2 (два фактори на двох рівнях) наведена в табл. 6.1.

Таблиця 6.1 – Матриця планування експерименту 2^2

Номер дослідження	x_1	x_2	y
1	-1	-1	y_1
2	+1	-1	y_2
3	-1	+1	y_3
4	+1	+1	y_4

Кожен стовпець у матриці планування називають вектор-стовпцем, а кожен рядок – вектор-рядком. Таким чином, табл. 6.1 містить два вектор-стовпця незалежних змінних x_1 , x_2 і один вектор-стовпець параметра оптимізації y . Те, що записано в цій таблиці в алгебраїчній формі, можна зобразити геометрично. Знайдемо в області визначення факторів точку, відповідну основному рівню, і проведемо через неї нові осі координат, паралельні осям натуральних значень факторів. Далі, виберемо масштаби за новими осях так, щоб інтервал варіювання для кожного фактору дорівнював одиниці. Тоді умови проведення дослідів відповідатимуть вершинам квадрата,

центром якого є основний рівень, а кожна сторона паралельна одній з осей координат і дорівнює двом інтервалам (рис. 6.1).

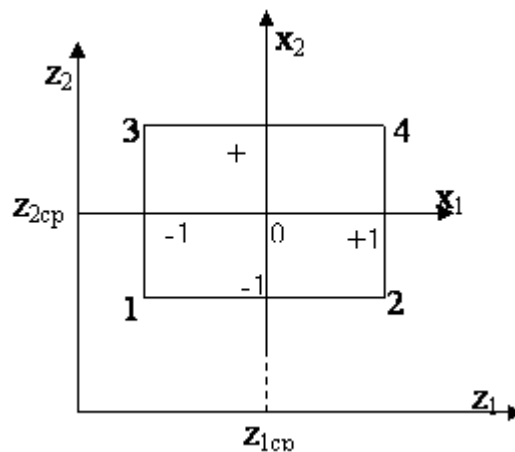


Рисунок 6.1 – Основний рівень і інтервали варіювання в природних (z_1, z_2) і кодіваних (x_1, x_2) координатах

Номери вершин квадрата на рис. 6.1 відповідають номерам дослідів в матриці планування (табл. 6.1). Площа, обмежена квадратом, називається областю експерименту.

Матриця планування для повного факторного експерименту типу 2^3 наведена в табл. 6.2.

Таблиця 6.2 – Матриця планування експерименту 2^3

Номер дослідів	x_1	x_2	x_3	y
1	-1	-1	+1	y_1
2	-1	+1	-1	y_2
3	+1	-1	-1	y_3
4	+1	+1	+1	y_4
5	-1	-1	-1	y_5
6	-1	+1	+1	y_6
7	+1	-1	+1	y_7
8	+1	+1	-1	y_8

Розглянуті матриці планування повних факторних експериментів відносяться до випадку планування дослідів з 2-3-ма факторами. Тепер з'ясуємо, які загальні властивості ці матриці мають незалежно від числа факторів. Говорячи про властивості матриць, ми маємо на увазі ті з них, які визначають якість моделі. Адже експеримент і планується для того, щоб отримати модель, що має деякі оптимальні властивості. Це означає, що оцінки коефіцієнтів моделі повинні бути найкращими і що точність передбачення параметра оптимізації не повинна залежати від напрямку в факторному просторі, бо заздалегідь неясно, куди належить рухатися в пошуках оптимуму.

Дві властивості йдуть безпосередньо з побудови матриці. Перше з них – **симетричність** щодо центру експерименту – формулюється наступним чином: алгебраїчна сума елементів вектор-стовпець для кожного фактору дорівнює нулю

$$\sum_{i=1}^n x_{ji} = 0, \quad (6.1)$$

де $i = 1, 2, \dots, n$ – номер рядка за кількістю дослідів N , $j = 1, 2, \dots, k$ – номер фактора.

Друга властивість – так звана **умова нормування** – формулюється так: сума квадратів елементів кожного стовпця дорівнює числу дослідів. Це наслідок того, що значення факторів в матриці задаються $+1$ і -1 .

$$\sum_{i=1}^n x_{ji}^2 = N, \quad (6.2)$$

Для зручності роботи введемо в матриці повного факторного експерименту додатковий стовпець з індексом $i = 0$, що складається з одних одиниць зі знаком $+$. Надалі цей стовпець знадобиться при обчисленні початкового елемента функції відгуку. Як приклад матриця планування типу 2^2 з нульовим стовпцем наведена в табл. 6.3.

Таблиця 6.3 – Матриця планування експерименту з нульовим стовпцем

Номер досліду	x_0	x_1	x_2	y
1	+1	-1	-1	y_1
2	+1	-1	+1	y_2
3	+1	+1	-1	y_3
4	+1	+1	+1	y_4

Сума почленних добутоків будь-яких двох вектор – стовпців матриці при $j \neq u$ ($j, u = 0, 1, 2, \dots, k$) дорівнює нулю:

$$\sum_{i=1}^n x_{ji} x_{ui} = 0, \quad (6.3)$$

Ця важлива властивість називається **ортогональністю матриці планування**.

Остання, четверта властивість називається **ротабельністю**. У цьому випадку точки в матриці планування підбираються так, що точність передбачення значень параметра оптимізації однакова на рівних відстанях від центру експерименту.

Метод повного факторного експерименту дає можливість одержувати математичний опис досліджуваного процесу в деякій локальній області факторного простору, що лежить близько вибраної точки з координатами ($x_{01}, x_{02}, \dots, x_{0n}$).

Перенесемо початок координат факторного простору в цю точку. З цією метою введемо нові змінні

$$X_i = \frac{x_i - x_{0i}}{\Delta x_i}, \quad (6.4)$$

де Δx_i – масштаб по осі X_i .

Іноді величину X_i називають *кодованою* змінною.

Функцію відгуку навколо початку координат розкладемо в ряд Тейлора

$$y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n + \beta_{12} X_1 X_2 + \dots + \beta_{(n-1)n} X_{n-1} X_n + \\ + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \dots + \beta_{nn} X_n^2 + \dots, \quad (6.5)$$

де $\beta_0 = y(0, \dots, 0)$ – значення функції відгуку в початку координат

$$\beta_1 = \frac{\partial y}{\partial X_1}, \\ \beta_{ij} = \frac{\partial^2 y}{\partial X_i \partial X_j}, \\ \beta_i = \frac{1}{2} \cdot \frac{\partial^2 y}{\partial X_i^2}, \quad (6.6)$$

і т. ін.

Метод повного факторного експерименту служить для одержання математичного опису процесу в виді відрізка ряду Тейлора. При цьому звичайно обмежуються лінійною частиною розкладу і членами, що містять добуток факторів в першому ступені. Таким чином, вдається знаходити рівняння локальної ділянки поверхні відгуку, якщо її кривизна не дуже велика.

Потрібно відмітити, що коефіцієнти рівняння визначаються на основі експериментальних даних і, відповідно, несуть на собі відбиток похибок експерименту. Щоб підкреслити цю обставину, в рівняння замість символів β , які позначають істинне значення коефіцієнтів, пишуть b , маючи на увазі під цим відповідні вибіркові оцінки.

Отже, за допомогою повного факторного експерименту шукають математичний опис процесу в виді рівняння:

$$y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + \dots + b_n X_n + b_{12} X_1 X_2 + \dots + b_{(n-1)n} X_{n-1} X_n. \quad (6.7)$$

Його називають *рівнянням регресії*, а коефіцієнти в ньому – *коефіцієнтами регресії*.

Для зручності розрахунків коефіцієнтів регресії всі фактори в ході повного факторного експерименту варіюють на двох рівнях, які відповідають значенням кодованих змінних +1 та -1.

Таким чином, повним факторним експериментом називається система дослідів, яка містить всі можливі такі що не повторяються комбінації рівнів варіювання факторів.

Основні принципи побудови матриць планування повного факторного експерименту:

- рівні варіювання першого фактору чергуються від дослідів до дослідів;
- частота зміни рівнів варіювання кожного наступного фактору вдвоє менше, ніж у попереднього.

Матриця планування повного факторного експерименту має такі властивості:

$$\sum_{j=1}^N X_{j,i} = 0, \quad (6.8)$$

$$\sum_{j=1}^N X_{j,i}^2 = N, \quad (6.9)$$

$$\sum_{j=1}^N X_{j,i} X_{j,m} = 0, \text{ (де } i \neq m \text{)}. \quad (6.10)$$

де N – число дослідів повного факторного експерименту; j – номер дослідів; i, l, m – номери факторів.

Властивість, виражена рівнянням (6.7), називається *ортогональністю*. Тому кажуть, що матриця повного факторного експерименту *ортогональна*. Ця властивість дозволяє вираховувати коефіцієнти регресії простими формулами незалежно один від одного.

Загальна кількість дослідів в матриці планування

$$N = 2^n, \quad (6.11)$$

де n – число факторів.

На основі повного факторного експерименту вираховують коефіцієнти регресії, користуючись наступними формулами:

$$b_0 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N y_j, \quad (6.12)$$

$$b_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N X_{ji} y_j, \quad (6.13)$$

$$b_{lm} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N X_{jl} X_{jm} y_j, \text{ (где } l \neq m \text{)}. \quad (6.14)$$

Деякі з коефіцієнтів регресії можуть виявитися нехтувально малими – *незначимими*. Щоб встановити, значимий коефіцієнт чи ні, необхідно перш за все вирахувати оцінку дисперсії, з якою він визначається:

$$s_b^2 = \frac{s_y^2}{N}. \quad (6.15)$$

Потрібно відмітити, що за допомогою повного факторного експерименту всі коефіцієнти визначаються з *однаковою* похибкою.

Прийнято вважати, що коефіцієнт регресії значимий, якщо виконана умова

$$|b| > s_b t \quad (6.16)$$

де t – значення критерію Стьюдента (див. *Додаток Б*).

В іншому випадку коефіцієнт регресії незначимий, і відповідний член можна виключити з рівняння.

Отримавши рівняння регресії, потрібно перевірити його адекватність, тобто здатність достатньо добре описувати поверхню відгуку. Цю перевірку

здійснюють за допомогою критерію Фішера, який являє собою таке відношення:

$$F_p = \frac{\max(s_{ad}^2, s_y^2)}{\min(s_{ad}^2, s_y^2)}, \quad (6.17)$$

де s_{ad}^2 – оцінка дисперсії адекватності.

В чисельнику дроби (6.17) знаходиться більша, а в знаменнику – менша з вказаних оцінок дисперсій.

Оцінку дисперсії адекватності вираховують за формулою

$$s_{ad}^2 = \frac{1}{N - B} \sum_{j=1}^N (y_j^3 - y_j^p)^2, \quad (6.18)$$

де B – число коефіцієнтів регресії рівняння, включаючи і вільний член;

y_j^3, y_j^p – експериментальне і розрахункове значення функції відгуку в j -м досліді;

N – число дослідів повного факторного експерименту.

З оцінкою дисперсії адекватності зв'язане число ступенів свободи

$$f_{ad} = N - B = N - (n+1). \quad (6.19)$$

де n – кількість коефіцієнтів моделі, не враховуючи нульового (вільного) члена.

Рівняння регресії вважається адекватним, якщо виконується умова

$$F_p \leq F, \quad (6.20)$$

де F – значення критерію Фішера (з Додатку В).

Для користування Додатком В необхідно знати число ступенів свободи, пов'язаних з чисельником і знаменником виразу (6.17).

Приклад. Розглянемо процес різання при тонкому точінні на токарно-гвинторізному верстаті моделі 16К20 сталюї заготовки прохідним різцем з

твердосплавною пластинкою зі сплаву Т30К4, де тангенційна складова зусилля різання P_z залежить від подачі x_1 (мм/об) та швидкості різання x_2 (м/хв). Необхідно за допомогою повного факторного експерименту знайти математичний опис цього процесу у межах точки з координатами $x_{01}=0,1$ мм/об и $x_{02}=175$ м/хв.

1. Математичний опис цього процесу будемо шукати у вигляді рівняння регресії

$$y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2,$$

де кодовані змінні зв'язані з подачею і швидкістю різання такими співвідношеннями:

$$X_1 = \frac{x_1 - x_{01}}{\Delta x_1}, \quad X_2 = \frac{x_2 - x_{02}}{\Delta x_2}.$$

2. Задаємося вимогами для проведення повного факторного експерименту (табл. 6.4).

Таблиця 6.4. – Основні характеристики плану експериментів

Характеристика	x_1 , мм/об	x_2 , м/хв
Основний рівень	0,1	175
Інтервал варіювання	0,02	25
Верхній рівень	0,12	200
Нижній рівень	0,08	150

3. Створимо матрицю планування та знайдемо результати повного факторного експерименту

Таблиця 6.5. – Повний двохфакторний експеримент

Номер досліду	X_1	X_2	x_1 , мм/об	x_2 , м/хв	\bar{y}_j	S^2_j
1	-1	-1	0,08	150	114,9	1,293
2	+1	-1	0,12	150	115,8	0,67
3	-1	+1	0,08	200	120,27	1,3
4	+1	+1	0,12	200	124,37	0,443

4. На основі результатів повного факторного експерименту розраховуємо коефіцієнти регресії

$$b_0 = \frac{1}{4}(114,9 + 115,8 + 120,27 + 124,37) = 118,83$$

$$b_1 = \frac{1}{4}(-114,9 + 115,8 - 120,27 + 124,37) = 1,25$$

$$b_2 = \frac{1}{4}(-114,9 - 115,8 + 120,27 + 124,37) = 3,485$$

5. Визначаємо оцінку дисперсії середнього значення

$$S_y^2 = \frac{1,293 + 0,67 + 1,3 + 0,443}{4} = 0,9265$$

$$S_{\bar{y}}^2 = \frac{S_y^2}{k} = \frac{0,9265}{3} = 0,31$$

6. Помилку в визначенні коефіцієнтів регресії вираховуємо за формулою

$$S_b = \sqrt{\frac{S_{\bar{y}}^2}{N}} = \sqrt{\frac{0,31}{4}} = 0,2737$$

7. Користуючись *Додатком Б*, знаходимо, що для довірчої вірогідності $P=0,95$ і 3 ступенів свободи значення критерію Стюдента $t = 3,182$.

$$\text{Тоді } S_b \cdot t = 0,2737 \cdot 3,182 = 0,871$$

8. Для оцінки значимості коефіцієнтів регресії розглянемо наступні співвідношення:

$$|b_0| = 118,83 > S_b \cdot t,$$

$$|b_1| = 1,25 > S_b \cdot t,$$

$$|b_2| = 3,485 > S_b \cdot t,$$

Звідси видно, що всі коефіцієнти регресії значимі. Отже рівняння має вигляд:

$$y = 118,83 + 1,25X_1 + 3,485X_2$$

9. Для перевірки адекватності рівняння регресії знайдемо розрахункові значення функції відгуку:

$$y_1^p = 118,83 + 1,25 (-1) + 3,485 (-1) = 114,095,$$

$$y_2^p = 118,83 + 1,25 (+1) + 3,485 (-1) = 116,595$$

$$y_3^p = 118,83 + 1,25 (-1) + 3,485 (+1) = 121,065$$

$$y_4^p = 118,83 + 1,25 (+1) + 3,485 (+1) = 123,565.$$

10. Знайдемо оцінку дисперсії адекватності:

$$S_{ад}^2 = \frac{1}{4-3} [(114,97-114,095)^2 + (115,8 - 116,595)^2 + (120,26-121,065)^2 + (124,37-123,565)^2] = 0,134.$$

З нею пов'язане число ступенів свободи $f=N-B=4-3=1$.

11. Розрахункове значення критерію Фішера знаходимо за формулою:

$$F_p = \frac{\max(S_{ад}^2, S_y^2)}{\min(S_{ад}^2, S_y^2)} = \frac{0,31}{0,134} = 2,31$$

Воно не перевищує значення, приведеного в *Додатку В* ($F_p = 2,31 < F_{табл} = 5,318$) Отже, рівняння регресії адекватно.

Як завдання для самостійного виконання за основу прийняти умови і варіанти з практичної роботи № 5.

Запитання для самоперевірки

1. Що таке повний факторний експеримент ?
2. Що представляє собою матриця планування експерименту ?
3. Сформулюйте основні властивості матриць планування експерименту.
4. Основні принципи побудови матриць планування повного факторного експерименту
4. Що називають рівнянням регресії і коефіцієнтами регресії ?
5. Методика побудови рівняння регресії.
6. Методика оцінки значимості коефіцієнтів регресії.
7. Методика перевірки рівняння регресії на адекватність.

7. ПРАКТИЧНА РОБОТА № 7

Обробка результатів експерименту

Мета роботи: Отримати графічне і математичне описання процесу

7.2 Теоретична частина

Графічне описання процесу необхідно для більш легкого аналізу перетворень, які відбуваються в заданому процесі при заданих навколишніх факторах. За допомогою математичного описання отримують математичну залежність згідно з якої можливо підрахувати, з деякою похибкою, необхідні параметри, які отримані експериментально. Для всіх проведених експериментів визначають середнє значення результатів паралельних досліджень

$$\bar{y}_j = \frac{1}{k} \cdot \sum_{i=1}^k y_{ji} \quad (7.1)$$

Знаходять різницю між значенням окремих вимірювань і середньої величини

$$\Delta \bar{y}_j = |y_j - \bar{y}_{cp}| \quad (7.2)$$

Підраховують дисперсію кожного дослідження і середню квадратичну похибку

$$s_j^2 = \frac{1}{k-1} \sum_{i=1}^k (\Delta \bar{y}_j)^2 \quad (7.3)$$

$$s = \sqrt{s_j^2} \quad (7.3)$$

Задаючись довірчою ймовірністю $P = 0,95$ знаходимо значення коефіцієнта Стьюдента для проведеної кількості досліджень. Знаходимо межі довірчого інтервалу

$$\Delta X = \frac{t \cdot s}{\sqrt{k}}, \quad (7.4)$$

де t – критерій Стьюдента.

Приклад. Розглянемо приклад, згідно з яким необхідно побудувати графічну залежність та за допомогою математичного описання отримати аналітичну залежність змінення величини тангенціального зусилля різання P_z при чистовому точінні заготовки зі сталі 45 ($\sigma_b = 700$ МПа) різцем прохідним з твердосплавною пластиною Т30К4 на токарно-гвинторізному верстаті моделі 16К20 від швидкості різання та подачі. Після проведення досліджень отримали такі результати (табл. 7.1).

Таблиця 7.1 – Результати дослідження щодо визначення величини тангенціального зусилля різання P_z

Номер серії дослідів	Умови дослідів			Значення тангенціального зусилля різання P_z , Н		
	швидкість різання, v , мм/хв	подача, S , мм/об	довжина шляху різання, L , м			
1	150	0,08	1000	115,9	115,3	113,7
2	200	0,08	1000	116,5	116,0	114,9
3	150	0,12	1000	119,0	121,2	120,6
4	200	0,12	1000	123,8	125,1	124,2

1. Для всіх проведених експериментів визначаємо середнє значення результатів паралельних досліджень

$$\bar{y}_1 = \frac{115,9 + 115,3 + 113,7}{3} = 114,97$$

2. Знаходимо різницю між значенням окремих вимірювань і середньої величини

$$\Delta \bar{y}_{1,1} = |115,9 - 114,97| = 0,93$$

$$\Delta \bar{y}_{1,2} = |115,3 - 114,97| = 0,33$$

$$\Delta \bar{y}_{1,3} = |113,7 - 114,97| = 1,27$$

3. Підраховуємо дисперсію дослідження і середню квадратичну похибку

$$S_j^2 = \frac{1}{3-1} \cdot (0,8649 + 0,1089 + 1,6129) = 1,3,$$

$$S = \sqrt{1,3} = 1,14$$

4. Задаючись довірчою ймовірністю $P = 0,95$ знаходимо значення коефіцієнта Стюдента для проведеної кількості досліджень (додаток Б)

$$f = 3-1 = 2$$

$$t = 4,303$$

5. Знаходимо межі довірчого інтервалу

$$\Delta X = \frac{4,303 \cdot 1,14}{\sqrt{3}} = 2,83$$

6. Знаходимо коефіцієнт варіації (величина довірчого інтервалу у %)

7. Заносимо отримані данні до таблиці 7.2.

Таблиця 7.2 – Результати досліджень для першої серії дослідів

Номер експерименту	Результати паралельних вимірювань,	Середнє значення, \bar{y}_1	Різниця, $\Delta \bar{y}_1$	Середнє квадратичне відхилення, S	Довірчий інтервал, ΔX	Коефіцієнт варіації, %
1	115,9	114,97	0,93	1,14	2,83	2,46
	115,3		0,33			
	113,7		1,27			

Згідно з наведеною методикою розраховуємо кожен експеримент і заносимо дані до таблиці 7.3

Таблиця 7.3 – Результати досліджень для другої, третьої та четвертої серій дослідів

Номер експерименту	Результати паралельних вимірювань,	Середнє значення, \bar{y}_2	Різниця, $\Delta \bar{y}_2$	Середнє квадратичне відхилення, S	Довірчий інтервал, ΔX	Коефіцієнт варіації, %
2	116,5	115,8	0,7	0,9	2,24	1,93
	116,0		0,2			
	114,9		0,9			

Продовження табл. 7.3

Номер експерименту	Результати паралельних вимірювань,	Середнє значення, \bar{y}_2	Різниця, $\Delta\bar{y}_2$	Середнє квадратичне відхилення, S	Довірчий інтервал, ΔX	Коефіцієнт варіації, %
Номер експерименту	Результати паралельних вимірювань,	Середнє значення, \bar{y}_3	Різниця, $\Delta\bar{y}_3$	Середнє квадратичне відхилення, S	Довірчий інтервал, ΔX	Коефіцієнт варіації, %
3	119,0	120,27	1,27	1,265	3,15	2,62
	121,2		0,93			
	120,6		0,33			
Номер експерименту	Результати паралельних вимірювань,	Середнє значення, \bar{y}_4	Різниця, $\Delta\bar{y}_3$	Середнє квадратичне відхилення, S	Довірчий інтервал, ΔX	Коефіцієнт варіації, %
4	123,8	124,4	0,6	0,7	1,74	1,4
	125,1		0,7			
	124,3		0,1			

8. За розрахованими даними будуюмо графіки залежності величини тангенційного зусилля різання P_z від швидкості різання v при змінній величині подачі s .

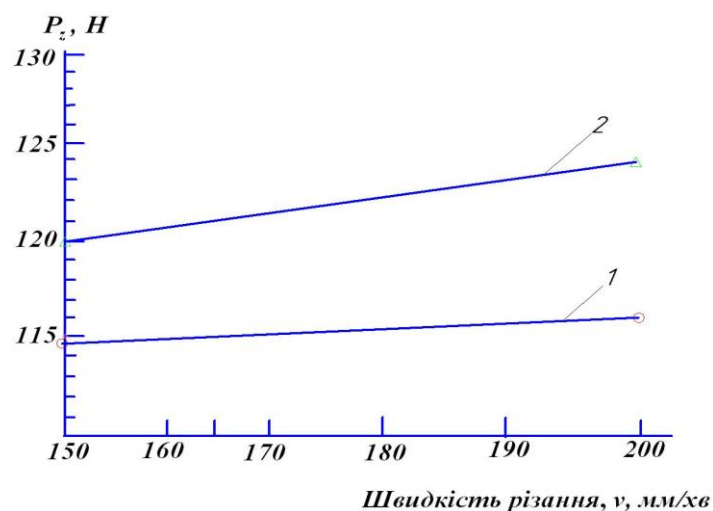


Рис. 7.1. Залежність величини тангенційного зусилля різання P_z від швидкості різання v при різних величинах подачі:

$$1 - s = 0,08 \text{ мм/об}; 2 - s = 0,12 \text{ мм/об}$$

1. Визначаємо математичне рівняння, яке описує дану залежність: У якості рівняння використовуємо рівняння виду $y = ax+b$ Для першої прямої

воно буде дорівнювати $P_z = 0,0166 \cdot v + 114,97$. Рівняння другої прямої дорівнює $P_z = 0,0826 \cdot v + 120,27$.

За отриманими рівняннями можливо розрахувати величину тангенціального зусилля різання P_z залежно від швидкості різання v при певних значеннях величини подачі s . Для отримання формули, за якою можливо знайти величину тангенціального зусилля різання одночасно від змінення швидкості різання та подачі, необхідно більш складне обчислення зі створенням тривимірного графіку.

Запитання для самоперевірки

1. Мета даної роботи.
2. Методика отримання графічного опису проведених експериментів.
3. Методика отримання математичного опису проведених експериментів.
4. Як визначаються межі довірчого інтервалу ?
5. Що таке коефіцієнт варіації і як він визначається ?

8. ПРАКТИЧНА РОБОТА № 8

Методи пошуку нових конструкторсько-технологічних рішень

Мета роботи: навчитися використовувати методи інженерної творчості для пошуку нових технічних рішень.

8.1 Асоціативні методи пошуку нових технічних рішень

Теоретичні відомості та вказівки до реалізації метода фокальних об'єктів

Ідея використання цього метода з метою активізації творчого уявлення належить американському винахіднику Вайтінгу.

Метод фокальних об'єктів полягає в тому, що на об'єкт, який намагаються удосконалити, переносять ознаки інших об'єктів, які вибрані випадково. В результаті такої дії різко зростає число несподіваних варіантів рішення. Це дає добрі результати при пошуку нових модифікацій відомих способів та пристроїв. Метод також може бути використаний для тренування

уяви (вправи типу: придумати фантастичну тварину, рослину, корабель та ін.).

Реалізують метод фокальних об'єктів у такому порядку:

1. Визначають технічний об'єкт, який потрібно удосконалити – фокальний об'єкт (наприклад, годинник).

2. Вибирають навмання декілька випадкових об'єктів (їх беруть з словника, каталогу, технічного журналу та ін. *наприклад*, кіно, змія, каса, полюс).

3. Складають списки ознак випадкових об'єктів (наприклад, кіно: широкоекранне, звукове, кольорове, об'ємне та ін.).

4. Генерують нові ідеї шляхом приєднання до фокального об'єкта ознак випадкових об'єктів (*наприклад*, широкоекранний годинник, звуковий годинник, об'ємний годинник і т. ін.).

5. Розвивають одержані сполучення шляхом вільних асоціацій (*наприклад*, широкоекранний годинник: замість вузького циферблату взятий широкий; може бути вузький циферблат, який іноді розтягується в широкий, проектується куди-небудь та ін.).

6. Оцінюють одержані ідеї та відбирають найбільш корисні рішення (доцільно створити групу експертів для попередньої оцінки, а потім сумісно відібрати найкращі рішення).

7. На завершальному етапі потрібно: вибрати найбільш оптимальне рішення; скласти ескіз та опис створеного ТО, вказавши головні його переваги та недоліки; оформити звіт та сформулювати висновок.

Теоретичні відомості та вказівки до реалізації метода гірлянд випадковостей

Метод гірлянд випадковостей, який запропонував радянський винахідник Буш, є подальшим розвитком метода фокальних об'єктів. Цей метод допомагає знайти велику кількість підказок для творчих ідей шляхом утворення нових асоціацій з випадковими об'єктами.

Як приклад, розглянемо вирішення за допомогою метода такої творчої задачі: необхідно запропонувати нові, оригінальні й корисні модифікації *стілців* для розширення асортименту меблевої фабрики. Цю задачу можна вирішити в такому порядку:

1. Перш за все потрібно скласти гірлянду синонімів об'єкта. Гірлянда синонімів для слова “стілець” може мати такий вигляд:

стілець – крісло – табуретка – пуф – лавка.

2. Навмання вибрати декілька випадкових об'єктів і утворити з них другу гірлянду, *наприклад*: електролампочка – решітка – карман – кільце – квітка – пляж.

3. Утворенням комбінацій з елементів гірлянд синонімів і випадкових об'єктів створити образи нових ТО, *наприклад*: стілець з електролампочкою, решітчастий стілець, стілець з карманами, табуретка для квітів та ін.

4. Для розвитку нових ідей на наступному етапі потрібно скласти перелік і сформулювати ознаки випадкових об'єктів. Для зручності їх краще об'єднати в таблицю (*приклад*, табл.8.1).

Таблиця 8.1 – Найменування та ознаки випадкових об'єктів

Назва	Ознаки
Електролампочка	Скляна, з цоколем, матова, електрична і т. ін.
Решітка	Металева, кована, гнучка і т. ін.
Карман	Передній, для збереження грошей і т. ін.
Кільце	Металеве, емальоване, надувне і т. ін.
Квітка	Плямиста, з шипами, плямиста і т. ін.
Пляж	Морський, вузький, піщаний і т. ін.

5. Далі потрібно згенерувати нові ідеї шляхом послідовного приєднання до технічного об'єкта та його синонімів ознак випадково обраних об'єктів. *Наприклад*, якщо ввести в гірлянду синонімів ознаки електролампочки, можна одержати: скляний стілець, тепловипромінююче крісло, електричний пуф, прозоре крісло, табуретка з цоколем і т.ін. Аналогічно одержують нові ідеї конструкції шляхом приєднання до гірлянди синонімів ознак інших випадкових об'єктів – решітки, кармана, кільця, квітки, пляжу.

Відібрати найбільш цікаві рішення та скласти ескіз та опис.

7. Оформити звіт та скласти висновок.

Теоретичні відомості та вказівки до реалізації метода гірлянд асоціацій

Метод гірлянд асоціацій є подальшим розвитком метода гірлянд випадковостей. Він також розроблений радянським вченим Бушем.

Для прикладу, продовжимо вирішення задачі даним методом. Для цього потрібно виконати наступні дії:

1. Почергово з ознак випадкових об'єктів, які виявлені на попередньому етапі, потрібно згенерувати гірлянди асоціацій. Наприклад, якщо у об'єкта “електролампочка” взяти в якості ключового слова ознаку “з цоколем”, то можна одержати гірлянду асоціацій: цоколь – будинок – цегла – пориста – губка – миючий засіб – порошок – піна – бульбашка – повітря – кисень – окисли – метал – дзвін – звук – коливання і т. ін.

2. Далі до елементів гірлянди синонімів технічного об'єкта приєднати елементи гірлянд асоціацій. Тоді, наприклад, можна утворити такі варіанти: крісло у вигляді пузиря, табуретка з піни, стілець з пористого матеріалу, пуф, який наповнений повітрям і т. ін.

3. На цьому кроці потрібно вибрати альтернативні варіанти та вирішити питання доцільності подальшого генерування гірлянд асоціацій. Якщо цікавих ідей мало то роботу потрібно продовжити.

4. Далі потрібно відібрати найбільш раціональні варіанти, оцінити їх та розташувати за рангом.

5. Завершальною операцією є вибір оптимального варіанта, складання його ескізу, опису, аналіз переваг та недоліків, оформлення звіту та формулювання висновку.

8.2 Методи мозкової атаки

Теоретичні відомості та вказівки до виконання роботи

Метод мозкової атаки відомий також під назвами “мозковий штурм”, “брейнстормінг” та ін. Даний метод розробив американський винахідник Осборн. Його сутність полягає в тому, щоб розділити за часом процеси генерування ідей та їх критичної оцінки.

В сучасності широко використовуються методи: прямої мозкової атаки, зворотної мозкової атаки, комбіновані методи. Методи універсальні і можуть бути використані для одержання нових ідей в широких сферах людської діяльності (в галузі техніки, науки, бізнесу, економіки, адміністративної діяльності та ін.). Їх можна використовувати також в сполученні з іншими методами.

Методи мозкового штурму або мозкової атаки засновані на психологічному ефекті. Якщо взяти групу і кожен буде висловлювати ідеї

індивідуально, то в сумі одержимо N ідей. Колективно висловлених ідей буде значно більше. Тобто під час сеансу відбувається ланцюгова реакція, яка призводить до інтелектуального вибуху.

Вивчення методів мозкової атаки не потребує спецпідготовки, але для її проведення потрібно вибрати ведучого (це може бути викладач) та дві групи студентів-учасників.

Загальний час на проведення сеансу мозкової атаки та оформлення результатів потрібно витримувати в межах 1,5–2,0 години, з них: знайомство з правилами – 5–10 хв; постановка задачі й відповіді на питання 10–15; проведення мозкової атаки 20–30; перерва 10; складання відредагованого списку ідей 30–40.

Фіксувати ідеї можна стенограмою, за допомогою магнітофона або доручити кожному записувати свою ідею.

Після сеансу потрібно провести швидке колективне редагування з напівкритичним відношенням. Відредагований список передається для подальшої оцінки і патентної доробки та використання в проектноконструкторських розробках.

Метод прямої мозкової атаки

Метод прямої мозкової атаки реалізується в такій послідовності.

Спочатку *формулюється задача*. Її постановка може мати різну форму та зміст, але бути короткою з чітко визначеними двома моментами:

1. Що бажано одержати або мати.
2. Що заважає тому, щоб одержати бажане.

Далі *формується дві групи студентів*, які послідовно повинні вирішити задачу.

Перша група – *творча*. До складу цієї групи потрібно відбирати людей творчого характеру, які схильні до абстрагування та фантазування. Найбільш ефективна кількість учасників 5–12. Число спеціалістів за тематикою задачі повинно бути менше половини. Бажано включати осіб, які зовсім не мають відношення до задачі.

Правила для учасників творчої групи такі:

1. Бажано висловлювати максимальну кількість ідей, не враховуючи якості.
2. Під час сеансу заборонена критика або негативні репліки.

3. Обстановка повинна бути невимушеною.

4. Бажано комбінувати та розвивати висловлені раніше ідеї.

5. Під час сеансу можна висловлювати та приймати до уваги «все, що прийде в голову».

Для активізації процесу генерації ідей в процесі мозкової атаки рекомендується використовувати такі прийоми: «інверсія» – зроби навпаки (наприклад, замість розтягування використати стискання); «аналогія» – зроби так, як це зроблено в іншому рішенні (наприклад, як би це зробив птах); «емпатія» – вважай, що ти сам цей об'єкт або його частина і як би ти себе поведив у цьому випадку, щоб вирішити задачу; “фантазія” – зроби щось фантастичне.

Друга група – *експерти*. Бажано, щоб склад групи експертів був рівний кількості учасників творчої групи. Тоді можна кожного з них закріпити за одним з учасників творчої групи і доручити запис ідей в процесі роботи. Задача експертів полягає в тому, щоб врахувати та систематизувати всі висловлені ідеї, оцінити їх, наприклад, за п'яти- або десятибальною системою, відібрати найдоцільніші й добути з них раціональне зерно.

Робота експертів виконується в такій послідовності: спочатку кожний експерт працює індивідуально, ранжируючи за якістю ідеї, потім вони працюють колективно, успільнюючи результати. В разі різких розходжень оцінок між експертами, обов'язково потрібно в'яснити причину розходження поглядів та проаналізувати ситуацію.

Обов'язки *ведучого* полягають в тому, щоб підтримувати невимушену обстановку, заохочувати безперервність висловлювань, слідкувати за регламентом. Для активізації творчої групи ведучому рекомендується використовувати списки контрольних запитань, які запропоновані А. Осборном, Т. Ейлоартом, Д. Пойа, Г.Я. Бушем або іншими авторами. Список А. Осборна включає такі контрольні запитання:

1. Яке нове застосування ТО можна запропонувати? Чи можливі нові способи використання? Як модифікувати відомі способи використання?

2. Чи можливе вирішення винахідницької задачі шляхом пристосування, спрощення, скорочення? Що нагадує даний ТО? Чи викликає аналогія нову ідею? Чи були в минулому аналогічні проблемні ситуації, які можна використати? Що можна скопіювати?

3. Які модифікації технічного об'єкта можливі? Чи можлива модифікація шляхом обертання, скручування, повороту? Які зміни призначення (функції), кольору, запаху, форми, обрисів можливі? Які можна запропонувати інші зміни?

4. Що можна збільшити в ТО? Що можна приєднати? Чи можливе збільшення терміну використання або впливу? Чи можна збільшити частоту, розміри, міцність? Підвищити якість? Приєднати новий компонент? Дублювати? Чи можлива мультиплікація робочих елементів або всього об'єкта? Чи можливе перебільшення, гіперболізація елементів або всього об'єкта?

5. Що можна в ТО зменшити? Що можна замінити? Чи можна щось ущільнити, стиснути, загустити, конденсувати, використати спосіб мініатюризації, укоротити, звузити, відділити, роздробити?

6. Що можна в ТО замінити? Що, скільки змішати і з чим? Інший інгредієнт? Інший матеріал? Інший процес? Інше джерело енергії? Інше розташування? Інший колір, звук, освітлення?

7. Що можна перетворити в ТО? Які компоненти можна взаємно замінити? Змінити модель? Змінити розбивку, розмітку, планування? Змінити послідовність операцій? Транспонірувати причину та ефект? Змінити швидкість або темп? Змінити режим?

8. Що можна в ТО перевернути навпаки? Транспонувати позитивне і від'ємне. Чи можна змінити місцями протилежно розміщені об'єкти? Повернути їх задом наперед? Перевернути низом вгору? Поміняти місцями? Поміняти ролями? Перевернути затискачі?

9. Які нові комбінації елементів ТО можливі? Чи можна створити суміш, сплав, новий асортимент, гарнітур? Комбінувати секції, вузли, блоки, агрегати? Комбінувати цілі? Поміняти ролями? Комбінувати ідеї?

Список Т. Ейлоарту включає такі контрольні питання:

1. Перерахувати всі якості й визначення задуманого винаходу. Змінити їх.

2. Сформулювати задачі ясно. Спробувати нові формулювання. Визначити другорядні та аналогічні задачі. Виділити головні.

3. Перерахувати недоліки тих рішень, які є, їх основні принципи, нові пропозиції.

4. Придумати фантастичні, біологічні, економічні, молекулярні та інші аналогії.

5. Побудувати математичну, гідравлічну, електронну, механічну та інші моделі (вони точніше за аналогії висвітлюють ідею).

6. Спробувати різні види матеріалів або енергії: газ, рідина, тверде тіло, гель, пасту, піну та ін.; тепло, магнітну енергію, світло, силу удару та ін.; різну довжину хвилі, поверхневі властивості та ін.; перехідний стан – заморожування, конденсація, перехід через точку Кюрі та ін.; ефекти Джоуля-Томпсона, Фарадея та ін.

7. Установити варіанти, залежності, можливі зв'язки, логічні збіги.

8. Спитати думку людей, які в цій справі зовсім некомпетентні.

9. Організувати сумбурне групове обговорення без критики ідей.

10. Спробувати “національні” рішення: хитре шотландське, всеохоплююче німецьке, марнотратне американське, складне китайське та ін.

11. Спати з проблемою, йти на роботу, гуляти, пити, їсти, працювати – все з нею.

12. Бродити серед стимулюючої обстановки (звалище металолому, технічні музеї та ін.), гортати журнали.

13. Прикинути таблицю цін, величин, переміщень, типів матеріалів та ін. при різних рішеннях проблеми, її частин або нових комбінацій.

14. Визначити ідеальне рішення та розробити можливі.

15. Видозмінити рішення проблеми з точки зору часу (швидше або повільніше), розмірів, в'язкості та ін.

16. Подумки забратися всередину механізму.

17. Визначити альтернативні проблеми та системи, які виключають певну ланку з ланцюга і, таким чином, створюють щось зовсім інше, відводячи в сторону від потрібного рішення.

18. Чия це проблема? Чому його?

19. Хто придумав це першим? Історія питання. Які хибні тлумачення цієї проблеми мали місце?

20. Хто ще вирішив цю проблему? Чого він добився?

21. Визначити загальноприйняті граничні умови та причини їх установлення.

Доцільно, щоб ведучий попередньо ознайомив учасників мозкової атаки зі списками контрольних питань з метою активізації їх уваги.

Навчально-тренувальні задачі. Такі задачі шліфують техніку проведення мозкової атаки. Вимоги до них такі: вони повинні бути зрозумілі для всіх

учасників; містити потенційно велике число ідей вирішення; викликати інтерес учасників.

Приклади:

1. Як виключити травмування людей від падаючих сосульок?
2. Як понизити аварійність на дорогах під час злиги?
3. Як швидко, продуктивно та якісно можна вирішити задачу відділення ядра горіхів від шкаралупи?

Метод зворотної мозкової атаки

В основі методу полягає закон прогресивної конструктивної еволюції техніки, згідно з яким перехід до нових зразків відбувається через виявлення та усунення недоліків в існуючому поколінні ТО при наявності науково-технічного потенціалу.

Тому при створенні нового виробу вирішуються дві задачі:

1. Виявлення в існуючих виробках максимального числа недоліків.
2. Максимальне усунення цих недоліків у новому виробі.

Перша задача відноситься до постановки винахідницьких і проектно-конструкторських задач, друга – до синтезу нового технічного рішення.

Повний список недоліків складається з двох частин:

1. Недоліки, які виявлені при виготовленні, експлуатації, ремонті та утилізації виробів.
2. Недоліки, які виникнуть в майбутньому в виробі, який розробляється.

Метод зворотної мозкової атаки орієнтований на складання найбільш повного списку недоліків ТО, на який потрібно обрушити необмежену критику. Об'єктом зворотної мозкової атаки може бути конкретний виріб або його вузол, технологічний процес або його операція, сфера обслуговування та ін.

Зворотна мозкова атака може бути використана в таких випадках:

- для уточнення постановки винахідницьких задач;
- при розробці технічного завдання;
- при експертизі проектно-конструкторської документації;
- для оцінки ефективності виробів, які потрібно придбати.

Формулювання задачі. Задача повинна містити вичерпні відповіді на такі питання: Що представляє собою об'єкт, який потрібно покращити? Які відомі недоліки об'єкта? Що потрібно одержати в результаті сеансу мозкової атаки?

На що потрібно звернути особливу увагу? Бажано мати сам об'єкт або його наглядне зображення.

Формування творчої групи, правила для учасників та організація проведення мозкової атаки аналогічні методу прямої атаки.

Комбіновані методи мозкової атаки

Методи прямої і зворотної МА можуть бути спільно використані в різних комбінаціях.

Подвійна пряма мозкова атака. Сутність в тому, що після проведення сеансу потрібно зробити перерву на термін від двох годин до 2–3 днів і ще раз повторити пряму мозкову атаку. Такий прийом забезпечує інтенсивний подальший розвиток найбільш цінних ідей.

Зворотна і пряма мозкова атака (прогнозування і розвиток техніки).

Розвиток ТО являє собою цикл, який повторюється за такою схемою: *існуючий об'єкт – виявлення недоліків – усунення недоліків* в новій серії виробів. Цю закономірність можна використати для уявного моделювання й прогнозування розвитку певного класу виробів.

Для цього спочатку зворотною мозковою атакою виявляють всі існуючі недоліки ТО та виділяють головні з них. Далі проводять пряму мозкову атаку для усунення головних недоліків і розробляють ескіз нового технічного рішення.

Пряма і зворотна мозкова атака (прогнозування недоліків ТО). Вказану вище закономірність розвитку техніки можна використати для прогнозування недоліків певного класу виробів. Для цього спочатку потрібно провести пряму мозкову атаку й зробити ескізи найбільш перспективних технічних рішень, потім – зворотну мозкову атаку й виявити можливі недоліки цих рішень. Результати можна посилити, якщо цей цикл повторити.

Мозкова атака з оцінкою ідей. Призначена для вирішення складних конструкторських задач і виконується в три етапи:

1. Проводять пряму мозкову атаку. Складають список ідей та роздають кожному з учасників, які повинні індивідуально відібрати з загального списку 3–5 кращих ідей і вказати їх переваги. Можна додавати свої ідеї.

2. Кожний учасник інформує про відібрані ним 3–5 ідей з вказівкою їх переваг. Щодо кожної ідеї проводиться коротка (5–10 хв) мозкова атака з

метою висунення ідей більш досконалого варіанту; далі виявляють їх недоліки; потім висувають ідеї щодо усунення цих недоліків. За результатами обговорення складають таблицю позитивно-негативної оцінки ідей (приклад, табл. 8.2).

3. Обговорюють надані ескізи з метою ранжирування їх від кращих до гірших.

Складають пропозиції з описом найкращих технічних рішень. Під час цієї процедури ескізи можуть бути додатково опрацьовані й деталізовані.

Таблиця 8.2. – Таблиця позитивно-негативної оцінки ідей

Опис ідей	Переваги ідей	Недоліки ідей
1.	1.1. 1.2.	1.1. 1.2.
2.	2.1 2.2	2.1. 2.2.

Далі приймається рішення щодо проведення патентних досліджень та складання заявок на винаходи за патентно здатними технічними рішеннями або складання раціоналізаторських пропозицій.

8.3 Морфологічний аналіз та синтез технічних рішень

Теоретичні відомості та вказівки до виконання роботи

Метод морфологічного аналізу заснований на комбінаториці. Його розробив швейцарський астроном Ф. Цвіккі та застосував при конструюванні астрономічних приладів. Перше практичне використання методу продемонстровано в 1942 р. в США, де автор працював у авіаційній фірмі. Користуючись цим методом, за короткий час він одержав декілька десятків нових оригінальних технічних рішень в галузі ракетобудування.

Морфологічний – означає перехід до по елементного складу або будови об'єкта й визначення взаємозв'язку елементів (під елементом розуміють мінімальний, який далі не ділиться компонент системи).

Сутність методу полягає в тому, що в виробі або об'єкті виділяють групу основних конструктивних або інших ознак. Потім для кожної ознаки вибирають альтернативні варіанти, тобто такі, які можливі для його виконання

або реалізації. Комбінуючи їх між собою, можна одержати багато різних рішень, в тому числі й ті, що являють собою практичний інтерес.

Як приклад, візьмемо простий об'єкт – “ніж для різання харчових продуктів”. Для реалізації методу потрібно розбити об'єкт на функціональні частини та скласти за їх ознаками морфологічну таблицю (приклад, табл. 2.3) в такому вигляді:

Таблиця 8.3 – Морфологічна таблиця на виріб “Ніж для різання харчових продуктів”

N	Ознаки	Альтернативні варіанти (номер стовпчика)					
		1	2	3	4	5	6
1	Матеріал леза						
2	Матеріал рукоятки						
3	Форма леза						
4	Безпека зберігання						
5	Додаткові функції						

Далі таблицю потрібно заповнити і після заповнення результати проаналізувати. Наприклад, якщо взяти з кожному рядку по одному варіанту, то одержимо одну певну конструкцію ножа. Якщо взяти всі можливі варіанти конструкції ножа, то одержимо кількість варіантів рівну добутку числа варіантів, які є в усіх рядках. Тобто, сутність методу полягає в тому, щоб побудувати морфологічну таблицю, заповнити її можливими альтернативними варіантами й вибрати з цієї множини комбінацій найбільш придатні та кращі рішення.

Для спрощення та збільшення ефективності роботи матеріал табл. 8.3 формалізують, тобто складають абстрактну таблицю (приклад, табл. 8.4), позначаючи позиції відповідними індексами.

Таблиця 8.4 – Абстрактна морфологічна таблиця

№	Ознаки	Альтернативні варіанти (номер стовпчика)					
		1	2	3	4	5	6
1	Матеріал леза	A ₁₁	A ₂₁	A ₃₁	A ₄₁	A ₅₁	A ₆₁
2	Матеріал рукоятки	A ₁₂	A ₂₂	A ₃₂	A ₄₂	A ₅₂	A ₆₂
3	Форма леза	A ₁₃	A ₂₃	A ₃₃	A ₄₃	A ₅₃	A ₆₃
4	Безпека зберігання	A ₁₄	A ₂₄	A ₃₄	A ₄₄	A ₅₄	A ₆₄
5	Додаткові функції	A ₁₅	A ₂₅	A ₃₅	A ₄₅	A ₅₅	A ₆₅

Далі можна перебирати всі можливі варіанти, але починати потрібно з головних. В даному варіанті головні елементи конструкції це лезо і ручка. Перебираючи варіанти потрібно скласти таблиці за таким принципом:

$$A_{11} + A_{12}$$

$$A_{11} + A_{22}$$

$$A_{11} + A_{32}$$

$$A_{11} + A_{42}$$

$$A_{11} + A_{52}$$

$$A_{11} + A_{62}$$

Потім для A_{21} , A_{31} , A_{41} і т. ін. Це буде декілька таблиць.

Після формалізації та складання абстрактних таблиць для головних елементів, корисно додати додаткові ознаки, які бажано одержати для даного об'єкта та скласти для них аналогічні таблиці.

Наступний етап – це скорочення множини варіантів шляхом викреслювання і виключення найгірших. Найгірші це в першу чергу ті, які не суміщаються, важко реалізуються, надто дорогі та мають інші специфічні ознаки в залежності від характеру об'єкта.

Після викреслення найгірших варіантів, найбільш ефективні потрібно упорядкувати за критерієм якості. Наприклад, дизайн, довговічність, функціональні властивості, ремонтпридатність, ціна та ін.

З подібного ряду вибираються найголовніші та найбільш характерні. Їх потрібно ранжувати за критерієм якості, ставлячи на перші місця найкращі, далі гірші. Кожному місцю присвоюється число. Найкраща якість – 1, далі – 2 і т. ін.

Результати потрібно згрупувати в таблицю рангів за кожним критерієм. За сумарною кількісною оцінкою вибрати найкращі об'єкти. Обгунтувати мотиви вибору та оформити результати в технічне рішення

8.4 Метод евристичних прийомів

Теоретичні відомості та вказівки до виконання роботи

Бажаючи знайти краще рішення технічної проблеми, людина завжди намагається: йти шляхом *логічного аналізу* недоліків та їх усунення; шляхом

пошуку та пристосування аналогічного рішення в природі або іншій галузі техніки; шляхом випадкових змін прототипу.

Такі спроби пошуку часто називають “метод спроб та помилок”. На основі цього стародавнього методу в 40-50-х роках ХХ століття виник *метод евристичних прийомів*.

Евристичні прийоми – це такі способи та правила, в яких міститься короткий опис або вказівка, “як перетворити” прототип, або “в якому напрямку шукати” щоб одержати потрібне рішення. Евристичні прийоми не містять прямої однозначної вказівки, як перетворити прототип, але дають “підказування”, яке допомагає знайти догадку правильного рішення.

Метод евристичних прийомів заснований на міжгалузевому фонді евристичних прийомів, який в даній роботі (додаток Г) містить 180 окремих прийомів, що розділені на 12 груп (табл. 8.5). Користуючись цим фондом, кожний інженер-початківець може поступово сформувати свій набір способів вирішення певного класу винахідницьких задач.

Таблиця 8.5. – Групи евристичних прийомів

№ групи	Назва групи	Число евристичних прийомів
1	Перетворення форми	16
2	Перетворення структури	19
3	Перетворення в просторі	16
4	Перетворення за часом	8
5	Перетворення руху та сили	14
6	Перетворення матеріалу та речовини	23
7	Прийоми диференціації	12
8	Кількісні зміни	12
9	Використання профілактичних мір	22
10	Використання резервів	13
11	Перетворення за аналогією	9
12	Підвищення технологічності	16
	Всього	180

Міжгалузевий фонд евристичних прийомів має універсальний характер і орієнтований на різні області техніки та технічні об'єкти. Це можуть бути: знаряддя, процеси, матеріали або їх складові.

В кінці опису багатьох евристичних прийомів дається вказівка “інверсія прийому”. Це означає, що бажано виконати зворотне перетворення або шукати в зворотному напрямку. Наприклад, якщо є отвір в ТО, то виключити його.

Постановка задачі та її вирішення методом евристичних прийомів включає шість послідовних етапів:

1. Попередня або уточнена постановка задачі (приклад, п. 2.1).

2. Вивчення та аналіз задачі. Вибір найбільш підходящих груп евристичних прийомів та самих прийомів на основі такої початкової інформації: конкретний прототип, який потрібно покращити; головний недолік прототипу, який необхідно усунути; головне протиріччя розвитку прототипу, яке потрібно усунути. За прототип при виконанні даної практичної роботи потрібно взяти патентний опис, який вибраний в результаті патентного пошуку. Він повинен відповідати темі курсового або дипломного проекту і відображувати удосконалення, яке в цей проект закладено.

3. Пошук технічних ідей, рішень та фізичних принципів дії. Перетворення прототипу за допомогою вибраних прийомів. Опис ідей та складання спрощених схем та ескізів.

4. Відбір кращих допустимих технічних рішень та додаткове їх удосконалення за допомогою евристичних прийомів.

5. Доопрацювання вибраних технічних рішень. Табличний аналіз сумісності нових рішень з суміжними ТО або тими, які стоять вище за ієрархією (приклад, табл. 8.6). На цьому етапі також можна використати метод евристичних прийомів або мозкової атаки.

6. Аналіз техніко-економічних показників нових технічних рішень та оцінка перспектив їх впровадження.

Таблиця 8.6 – Форми аналізу наслідків від нового технічного рішення

Які <i>негативні</i> наслідки принесе нове технічне рішення для суміжних об'єктів або тих, які стоять вище за ієрархією?	Які <i>позитивні</i> наслідки принесе нове технічне рішення для суміжних об'єктів або тих, які стоять вище за ієрархією?
1.	1.
2.	2.

Запитання для самоперевірки

1. Назвіть мету роботи.
2. Сутність методу фокальних об'єктів та порядок його реалізації.
3. Сутність методу гірлянд випадковостей та порядок його реалізації.
4. Сутність методу гірлянд асоціацій та порядок його реалізації.
5. Основні методи мозкової атаки.
6. Сутність методів мозкової атаки та порядок їх реалізації.
7. Сутність комбінованих методів мозкового штурму та порядок їх реалізації.
8. Сутність методу морфологічного аналізу та порядок його реалізації.
9. Сутність методу евристичних прийомів та порядок його реалізації.

ВИКОРИСТАНА ТА РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Крушельницька О. В. Методологія та організація наукових досліджень : навч. посіб. Київ : Кондор, 2003. 192 с.
2. Поперечний А. М., Заплетніков І. М., Баришев О. І. Магістерська робота. Методологія її виконання. Напрямок “Машинобудування та матеріалообробка” : навч. посіб. / Донецький держ. ун-т економіки і торгівлі. Львів : Магнолія 2006, 2012. 204 с.
3. Білуха М. Т. Методологія наукових досліджень : підручник. Київ : АБУ, 2002. 480 с.
4. Організація наукових досліджень, написання та захист магістерської дисертації : навч. посіб. / А. Ю. Берко та ін. ; за ред. В. В. Пасічника. Львів : Новий світ-2000, 2012. 282 с.

Допоміжна література

5. Основи наукових досліджень: конспект лекцій / уклад.: Е. В. Колісніченко. Суми : Сумський державний університет, 2012. 83 с.
6. Скурихин В. И., Шифрин В. Б., Дубровский В. В. Математическое моделирование. Киев : Техника, 1983. 270 с.
7. Грабченко А. І., Федорович В. О., Геращенко Я. М. Методи наукових досліджень : навч. посіб. Харків : НТУ “ХПІ”, 2009. 142 с.

ДОДАТОК А

Значення критерію Кохрена ($G_{\text{табл}}$)

$f = k - 1$								
N	1	2	3	4	5	6	7	8
Рівень значущості $\alpha = 0,05$ (довірча вірогідність $P = 0,95$)								
2	0,999	0,975	0,939	0,906	0,877	0,853	0,833	0,816
3	0,967	0,871	0,798	0,746	0,707	0,677	0,653	0,633
4	0,907	0,768	0,684	0,629	0,590	0,560	0,637	0,518
5	0,841	0,684	0,598	0,544	0,507	0,478	0,456	0,439
6	0,781	0,616	0,532	0,480	0,445	0,418	0,398	0,382
7	0,727	0,561	0,480	0,431	0,397	0,373	0,354	0,338
8	0,680	0,516	0,438	0,391	0,360	0,336	0,319	0,304
9	0,639	0,478	0,403	0,358	0,329	0,307	0,290	0,277
10	0,602	0,445	0,373	0,331	0,303	0,282	0,267	0,200

Примітки: N – загальна кількість оцінок дисперсій (кількість дослідів);

$f = k - 1$ – число ступенів свободи;

k – кількість паралельних дослідів, які проведені при однакових умовах

Значення критерію Стьюдента ($t_{\text{табл}}$)

Число ступенів свободи	Рівні значимості α				
	0,1	0,05	0,02	0,01	0,001
$f = N - 1$	0,1	0,05	0,02	0,01	0,001
1	6,314	12,71	31,821	63,66	636,6
2	2,920	4,303	6,965	9,925	31,60
3	2,353	3,182	4,541	5,841	12,92
4	2,132	2,776	3,747	4,604	8,610
5	2,015	2,571	3,365	4,032	6,869
6	1,943	2,447	3,143	3,707	5,959
7	1,895	2,365	2,998	3,499	5,408
8	1,860	2,306	2,896	3,355	5,041
9	1,833	2,262	2,821	3,250	4,781
10	1,812	2,228	2,764	3,169	4,587

ДОДАТОК В

Значення критерію Фішера ($F_{\text{табл}}$) для рівня значимості $\alpha = 0,05$

Число ступенів вільності дисперсії відтворювання, $f_{\text{відтв}} = N - (k - 1)$	Число ступенів вільності дисперсії адекватності $f_{\text{ад}} = N - (n + 1)$							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	161,45	199,50	216,71	224,53	230,18	234	238,9	243,9
2	18,513	19,22	19,161	19,25	19,296	19,330	19,353	19,41
3	10,128	9,652	9,277	9,117	9,013	8,941	8,84	8,745
4	7,709	6,94	6,591	6,338	6,266	6,163	6,04	5,911
5	6,608	5,786	5,411	5,192	5,050	4,950	4,82	4,68
6	5,937	5,143	4,757	4,534	4,387	4,254	4,15	4,0
7	5,591	4,737	4,347	4,120	3,972	3,866	3,73	3,57
8	5,318	4,459	4,066	3,838	3,636	3,581	3,44	3,28
9	5,117	4,257	3,863	3,633	3,432	3,374	3,23	3,07
10	4,960	4,140	3,703	3,487	3,328	3,217	3,07	2,91
11	4,84	3,98	3,587	3,36	3,204	3,095	3,012	2,85
12	4,747	3,885	3,490	3,259	3,106	2,996	2,913	2,77
13	4,667	3,81	3,411	3,179	3,020	2,915	2,832	2,7
14	4,600	3,739	3,344	3,121	2,958	2,843	2,764	2,699
15	4,543	3,682	3,287	3,056	2,901	2,791	2,707	2,611
16	4,494	3,634	3,239	3,007	2,852	2,741	2,657	2,591

Примітки: : N – загальна кількість оцінок дисперсій (кількість дослідів);

k – кількість паралельних дослідів, які проведені при однакових умовах;

n – кількість коефіцієнтів моделі, не враховуючи нульового (вільного) члена.

**Міжгалузевий фонд евристичних прийомів перетворення
технічного об'єкта**

1. Перетворення форми

1.1. Використати кругову, спіральну, деревовидну, сферичну або іншу компактну форму.

1.2. Зробити в ТО (елементі) отвори або порожнини. Інверсія прийому.

1.3. Перевірити відповідність форми ТО законам симетрії. Перейти від симетричної форми та структури до асиметричної. Інверсія прийому.

1.4. Перейти від прямолінійних частий, плоских поверхонь, кубічних і багатогранних форм (особливо в місцях спряжень) до криволінійних, сферичних або обтічних форм. Інверсія прийому.

1.5. ТО (елементу), який працює під навантаженням, придати випуклу (більш випуклу) форму.

1.6. Компенсувати небажану форму складенням зі зворотною за обрисом формою.

1.7. Виконати ТО у формі: іншого ТО, який має аналогічну назву або призначення; тварини, рослини або їх органу; людини або її органів.

1.8. Виконати ТО (елемент) пристосованим до форми людини або її органів.

1.9. Використати в аналогічних умовах роботи природний принцип формування в живій або неживій природі.

1.10. Виконати раціональний (оптимальний) розкрій листового або об'ємного матеріалу, внести зміни в форму деталей для більш повного використання матеріалу.

1.11. Вибрати конструкцію деталей, яка в найбільшій мірі наближається до форми та розмірів прокату, що випускається, та інших профільних заготовок.

1.12. Знайти глобально-оптимальну форму ТО.

1.13. Знайти найбільш доцільну форму ТО (зорове виділення головного функціонального елемента, усунення або прикриття непотрібних деталей та ін.).

1.14. Використати різні види симетрії та асиметрії, динамічні та статичні властивості форми, ритму (чергування однакових або подібних елементів), нюансів та контрасту.

1.15. Здійснити гармонічну ув'язку форм різних елементів (вибір масштабів і співвідношень між ТО та оточуючим предметним середовищем, використання естетично більш доцільних пропорцій).

1.16. Вибрати або придумати найбільш красиву форму ТО та його елементів.

2. Перетворення структури

2.1. Виключити найбільш напружений (навантажений) елемент.

2.2. Виключити елемент при збереженні ТО всіх попередній функцій. Один елемент виконує декілька функцій, завдяки чому відпадає необхідність в інших елементах. Вилучити «зайві деталі» навіть при втраті «одного відсотка ефекту».

2.3. Приєднати до ТО новий елемент у вигляді жорстко або шарнірно з'єднаної пластини (стрижня, оболонки або труби), яка знаходиться в робочому середовищі або в контакті з ним.

2.4. Приєднати до базового ТО додаткове спеціалізоване знаряддя праці, інструмент та ін.

2.5. Замінити зв'язки (спосіб або засоби з'єднання) між елементами; жорсткий зв'язок зробити гнучким або навпаки.

2.6. Замінити джерело енергії, тип привода, колір та ін.

2.7. Замінити механічну схему електричною, тепловою, оптичною або електронною.

2.8. Суттєво змінити компоновку елементів; зменшити компоновальні витрати.

2.9. Зосередити органи управління та контролю в одному місці.

2.10. Об'єднати елементи єдиним корпусом, станиною або виготовити ТО цільним.

2.11. Ввести єдиний привід, єдину систему управління або енергозабезпечення.

2.12. З'єднати однорідні або призначені для суміжних операцій ТО.

2.13. Об'єднати в одне ціле ТО, що мають самостійне призначення, яке зберігається після об'єднання в новому комплексі.

2.14. Використати принцип агрегування. Створити базову конструкцію (єдину раму, станину), на яку можна «навісити» різні (в різних комбінаціях) робочі органи, агрегати, інструменти.

2.15. Сумістити або об'єднати явно або традиційно несумісні ТО, усунувши протиріччя, які виникають.

2.16. Вибрати матеріал, який забезпечує мінімальну працемісткість виготовлення деталей та обробки заготовок.

2.17. Використати розсувні, розкладні, збірні, надувні та інші конструкції, які забезпечать значне зменшення габаритних розмірів при переведенні ТО з робочого стану в неробочий.

2.18. Знайти глобально-оптимальну структуру.

2.19. Вибрати або придумати найбільш красиву структуру.

3. *Перетворення в просторі*

3.1. Змінити традиційну орієнтацію ТО в просторі: горизонтальне положення на вертикальне або похиле; покласти на бік; повернути низом вгору; повернути шляхом обертання.

3.2. Використати «пустий простір» між елементами ТО. Один елемент проходить скрізь порожнину в другому елементі.

3.3. Об'єднати відомі окремо ТО (елементи) з розміщенням одного всередині іншого за принципом «матрьошки».

3.4. Розміщення по одній лінії замінити розміщенням по декількох лініях або площинам. Інверсія прийому.

3.5. Замінити розміщення по площині на розміщенням по декількох площинах або в тримірному просторі; перейти від одноповерхової (одношарової) компоновки до багатоповерхової (багатошарової). Інверсія прийому.

3.6. Змінити напрямок дії робочої сили або середовища.

3.7. Перейти від контакту в точці до контакту по лінії; від контакту по лінії до контакту по поверхні; від контакту по поверхні до об'ємного (просторового). Інверсія прийому.

3.8. Здійснити спряження по декількох поверхнях.

3.9. Наблизити робочі органи ТО до місця виконання ними своїх функцій без переміщення самого об'єкта;

3.10. Заздалегідь розставити ТО так, щоб вони могли вступити в дію з найбільш зручного місця і без витрат часу на їх доставку.

3.11. Перейти від послідовного з'єднання елементів до паралельного або змішаного. Інверсія прийому.

3.12. Розділити ТО на частини так, щоб наблизити кожен з них до того місця, де вона працює.

3.13. Розділити ТО на дві частини – «об'ємну» та «необ'ємну»; винести «об'ємну» частину за межі, які обмежують об'єм.

3.14. Винести елементи, доступні дії шкідливих факторів, за безпечну межу.

3.15. Перенести (помістити) ТО або його елемент в інше середовище, яке виключає дію шкідливих факторів.

3.16. Вийти за традиційні просторові обмеження або габаритні розміри.

4. Перетворення за часом

4.1. Перенести виконання дії на інший час. Наприклад, виконати дію до початку або після закінчення роботи.

4.2. Перейти від безперервної подачі енергії (речовини) або безперервної дії (процесу) до періодичного або імпульсного. Інверсія прийому.

4.3. Перейти від стаціонарного за часом режиму до змінного.

4.4. Виключити некорисні («шкідливі») інтервали часу. Використати паузу між імпульсами (періодичними діями) для здійснення іншої дії.

4.5. За принципом безперервної корисної дії здійснювати роботу ТО безперервно, без холостих ходів. Всі елементи ТО повинні весь час працювати з повним навантаженням.

4.6. Змінити послідовність виконання операцій.

4.7. Перейти від послідовного здійснення операцій до паралельного (одночасного). Інверсія прийому.

4.8. Сумістити технологічні процеси або операції. Об'єднати однорідні або суміжні операції. Інверсія прийому.

5. Перетворення руху та сили

5.1. Змінити напрямок обертання.

5.2. Замінити поступальний (прямолінійний) або зворотно-поступальний рух обертовим. Інверсія прийому.

5.3. Усунути або скоротити холості, зворотні, проміжні ходи та рухи.

5.4. Суттєво змінити напрямок руху, в тому числі на протилежний.

5.5. Замінити традиційну складну траєкторію руху прямою або колом.

Інверсія прийому.

5.6. Замінити вигин розтягуванням або стисканням. Замінити стискання розтягуванням.

5.7. Розділити ТО на дві частини – «важку» та «легку», пересувати лише «легку» частину.

5.8. Змінити умови роботи так, щоб не потрібно було піднімати або опускати ТО, який обробляється.

5.9. Замінити тертя ковзання тертям кочення. Інверсія прийому.

5.10. Перейти від нерухомого фізичного поля до такого, яке рухається. Інверсія прийому.

5.11. Розділити ТО на частини, які здатні переміщуватися відносно одна одної. Зробити рухомі елементи нерухомими, а нерухомі рухомими.

5.12. Змінити умови роботи так, щоб небезпечні або «шкідливі» моменти здійснювались на великій швидкості. Інверсія прийому.

5.13. Використати магнітні сили.

5.14. Компенсувати дію маси ТО з'єднанням його з об'єктом, який володіє підйомною силою.

6. Перетворення матеріалу або речовини

6.1. Елемент, який удосконалюється, і елементи, які з ним взаємодіють, зробити з одного й того ж матеріалу або близького йому за властивостями. Інверсія прийому.

6.2. Виконати елемент або його поверхню з пористого матеріалу. Заповнити пори якою-небудь речовиною.

6.3. Розділити ТО (елемент) на частини так, щоб кожна з них могла бути виготовлена з найбільш придатного матеріалу.

6.4. Вилучити зайвий матеріал, який не має функціонального навантаження.

6.5. Змінити поверхневі властивості ТО (елемента); зміцнити поверхню об'єкта; нейтралізувати властивості матеріалу на поверхні об'єкта.

6.6. Замінити жорстку частину елементами з матеріалу, який допускає зміну форми при експлуатації; замість жорстких об'ємних конструкцій використати гнучкі оболонки та плівки. Інверсія прийому.

6.7. Змінити фізичні властивості матеріалу, наприклад, змінити його агрегатний стан.

6.8. Замінити деякі об'єкти середовища на об'єкти з іншими фізико-механічними та хімічними властивостями.

6.9. Використати інший матеріал (більш дешевий, новіший та ін.).

6.10. Використати деталі з в'язкого матеріалу, який потім отверджується.

6.11. Відділити шкідливі або небажані домішки від речовини.

6.12. Замінити традиційне оточуюче середовище. Розглянути можливість використання вакууму, інертного, водного, космічного або якого-небудь іншого середовища.

6.13. Замінити ТО їх оптичними копіями (зображеннями); використати зміну масштабу зображення. Перейти від видимих оптичних копій до інфрачервоних, ультрафіолетових та інших зображень.

6.14. Дорогий довговічний елемент замінити дешевим, недовговічним.

6.15. Замінити різномірні за матеріалом та формою елементи одним уніфікованим або стандартним елементом.

6.16. Виконати елементи з матеріалів, які мають відмінні характеристики, але дають потрібний ефект (наприклад, з різним термічним розширенням).

6.17. Замість твердих частин використовувати рідкі або газоподібні (надувні, гідронаповнюючі, повітряні подушки, гідростатичні, гідрореактивні). Інверсія прийому.

6.18. Вибрати матеріали, які забезпечують зниження кількості відходів при виготовленні деталей. Наприклад, перейти від використання деталей, які виготовляють обробкою різанням, до деталей з пластмаси (виготовляють формовкою) або металокераміки.

6.19. Перейти до безвідходних технологій, наприклад, одержати відходи матеріалів в більш цінному вигляді, який дозволяє використовувати їх для виготовлення інших деталей.

6.20. Здійснити зміцнення матеріалів механічною, термічною, термохімічною, електрофізичною, електрохімічною, лазерною та іншими видами обробки.

6.21. Використати матеріали з більш високими питомими міцностними, електричними, теплофізичними та іншими характеристиками.

6.22. Використати армовані, композиційні, пористі та інші нові перспективні матеріали.

6.23. Використати матеріал зі змінними за часом характеристиками (жорсткістю, прозорістю та ін.).

7. Прийоми диференціації

7.1. Розділити потік (речовини, енергії, інформації), який рухається, на два або декілька.

7.2. Розділити сипучий, рідкий або газоподібний об'єкт на частини.

7.3. Зробити елемент з'ємним або таким, що легко відділяється.

7.4. Диференціювати привід та інші джерела енергії; наблизити їх до виконавчих органів та робочих зон.

7.5. Зробити автономним управління й привід кожному елементу.

7.6. Провести дроблення традиційно цілого об'єкта на мілкі однорідні елементи з аналогічною функцією. Інверсія прийому.

7.7. Розділити ТО на частини, після чого виготовляти, обробляти, вантажити та ін. кожну частину окремо, а потім виконувати збирання.

7.8. Розділити ТО на частини так, щоб їх можна було замінити при зміні режиму роботи.

7.9. Розділити ТО на частини: «гарячу» та «холодну»; ізолювати одну від іншої.

7.10. Представити ТО в вигляді складальної конструкції; виготовляти його з окремих елементів та частин.

7.11. Придати блочну структуру об'єкту, при якій кожний блок виконує самостійну функцію.

7.12. Виділити в ТО найбільш необхідний елемент (потрібну властивість) та посилити його або покращити умови роботи.

8. Кількісні зміни

8.1. Різко змінити (в декілька разів, в десятки та сотні разів) параметри або показники ТО (його елементів, оточуючого середовища).

8.2. Збільшити в ТО число однакових або подібних елементів (або зробити навпаки). Змінити число одночасно діючих або оброблювальних об'єктів (елементів), наприклад, робочих машин, їх робочих органів, двигунів та ін.

8.3. Змінити габаритні розміри, об'єм або довжину об'єкта при переведенні його в робочий або неробочий стан.

8.4. Збільшити ступінь дроблення об'єкта (або зробити навпаки).

8.5. Допустити незначне пониження ефекту, який вимагається.

8.6. Використати ідею надлишкового рішення (якщо важко одержати 100% потрібного ефекту, задатися метою одержати декілька більше).

8.7. Змінити (посилити) шкідливі фактори так, щоб вони перестали бути шкідливими.

8.8. Зменшити число функцій ТО та зробити його більш спеціалізованим, відповідним лише тим функціям і вимогам, які залишилися.

8.9. Гіперболізувати, значно збільшити розміри ТО та знайти йому використання. Інверсія прийому.

8.10. Підвищити інтенсивність технологічних процесів.

8.11. Створити місцеву локальну якість; здійснити локальну концентрацію сил, напружень та ін.

8.12. Знайти глобально-оптимальні параметри ТО за різними критеріями розвитку.

9. Використання профілактичних мір

9.1. Передбачити прикриття та захист елементів, які легко пошкоджуються. Екранувати ТО.

9.2. Ввести запобіжні пристрої або блокування.

9.3. Розділити крихкий ТО, який часто пошкоджується, на частини.

9.4. Виконати ТО (елемент) розбірним так, щоб можна було замінити окремі пошкоджені частини.

9.5. Для зменшення простоїв та підвищення надійності створити запас робочих органів або елементів. Передбачити у відповідальних частинах ТО дублюючі елементи.

9.6. Захистити елемент від повітряного або іншого агресивного середовища.

9.7. Заздалегідь придати ТО напруження, які протилежні недопустимим або небажаним робочим напруженням.

9.8. Заздалегідь придати ТО зміни, які протилежні недопустимим або небажаним змінам, що виникають в процесі роботи.

9.9. Заздалегідь виконати необхідну повну або часткову зміну об'єкта.

9.10. Забезпечити автоматичну подачу мастильних матеріалів до частин, які труться.

9.11. Ізолювати ТО від зовнішнього середовища за допомогою гнучких оболонок та тонких плівок (помістити ТО в оболонку, капсулу, гільзу). Інверсія прийому.

9.12. Придати ТО нову властивість, наприклад, забезпечити його плавучість, герметизацію, самовідновлення, зробити його прозорим, електропровідним.

9.13. Зробити елементи ТО такими, що взаємозамінюються.

9.14. Передбачити компенсацію неточностей виготовлення ТО.

9.15. Розділити ТО на частини так, щоб при виході з ладу одного елемента об'єкт в цілому зберігав працездатність.

9.16. Для підвищення надійності попередньо підготувати аварійні засоби.

9.17. Забезпечити зниження або усунення вібраційних, ударних навантажень та інерційних перевантажень.

9.18. Використати об'єкти живої або неживої природи в формуванні зони естетичного впливу.

9.19. Виключити з оточуючого предметного середовища об'єкти, які викликають негативні емоції (створення зеленої огорожі з дерев та чагарників, маскування, мімікрія під предмети, які викликають позитивні емоції та ін.).

9.20. Виключити шуми й запахи, які викликають негативні емоції; трансформувати їх в більш естетичні звуки та аромати.

9.21. Створити замкнуті безвідходні технології з утилізацією та поверненням у виробництво забруднюючих речовин у вигляді сировини й матеріалів.

9.22. Здійснити розробку нових пристроїв і технологій, які забезпечать різке пониження забруднення та зміну середовища (наприклад, геотехнологія та ін.),

10. Використання резервів

10.1. Використати масу ТО (елемента) або зусилля, які виникають періодично для одержання додаткового ефекту.

10.2. Компенсувати надлишкові витрати енергії одержанням якого-небудь додаткового позитивного ефекту.

10.3. Виключити підбір та підгонку (регулювання та вивірку) деталей і вузлів при збиранні ТО.

10.4. Усунути шкідливий фактор (наприклад, за рахунок компенсації його іншим шкідливим фактором).

10.5. Використати або акумулювати енергію гальмування або іншу, яку одержують попутно.

10.6. Замість дії, яка диктується умовами задачі, здійснювати зворотну дію (наприклад, не охолоджувати об'єкт, а нагрівати).

10.7. Елемент, який виконав своє призначення та став непотрібним або відходи (енергія, речовина) використовувати з іншою метою.

10.8. Використовувати шкідливі фактори (зокрема, шкідливі впливи середовища) для одержання позитивного ефекту.

10.9. Вибрати та забезпечити оптимальні параметри (температуру, вологість, освітлення та ін.).

10.10. Уточнити розрахункові напруження в елементах на основі використання більш точних математичних моделей та ЕОМ.

10.11. Перейти на інші фізичні принципи дії з більш дешевими або доступними джерелами енергії або більш високим ККД.

10.12. Після конструктивного удосконалення якого-небудь елемента визначити, як повинні бути змінені інші елементи, щоб ефективність об'єкта в цілому ще більше підвищилась.

11. *Перетворення за аналогією*

11.1. Використати ТО, який призначений для виконання аналогічної функції в іншій галузі техніки, користуючись класифікаторами патентів.

11.2. Використати природний принцип повторюваності однотипних елементів (бджолині стільники, клітки, листки, кристали та ін.).

11.3. Використати в якості прототипу технічного рішення об'єкт неживою або живої природи, близькі або віддалені області техніки.

11.4. Використати рішення, аналогічне тому, яке є: в ведучій галузі техніки або в стародавніх та минулих технічних об'єктах; в неживій природі (фізика, хімія, біохімія та ін.); в сучасних організмах, або в тих, які вимерли; в економіці або суспільному житті людей; в науково-фантастичній літературі. Відповісти на питання, як вирішуються подібні задачі в указаних областях?

11.5. Використати аналоги властивостей інших об'єктів; використати властивості без самого об'єкта.

11.6. Використати принцип імітації (полягає в створенні таких об'єктів, які за формою, кольором, зовнішнім виглядом та необхідними властивостями аналогічні іншому об'єкту).

11.7. Використати емпатію: подумки перетворити себе в об'єкт (елемент), за допомогою своїх відчуттів знайти найбільш доцільне рішення.

11.8. Використати в якості прототипу дитячі іграшки.

11.9. Замість недоступного, складного, дорогого або крихкого об'єкта використати його спрощені й дешеві копії, моделі, макети.

12. Підвищення технологічності

12.1. Спростити форму й конструкцію деталей шляхом скорочення числа поверхонь, що обробляються, неплоских і некругових поверхонь, робочих ходів при обробці.

12.2. Вибрати форму й конструкцію елементів, які забезпечують використання найбільш продуктивного технологічного обладнання, пристроїв та інструмента.

12.3. Вибрати конструкцію деталей вузлів, які забезпечують максимальне суміщення та одночасне виконання операцій обробки й збирання.

12.4. Понизити або виключити пригоночні роботи при збиранні. Використати засоби компенсації неточності виготовлення.

12.5. Здійснити технологічну уніфікацію конструкцій, форми та розмірів деталей.

12.6. Замінити механічну обробку способом обробки без зняття стружки.

12.7. Використати елементи та інструменти, які саморегулюються, відновлюються, самозаточуються, скорочують працездатність профілактичного догляду та ремонту.

12.8. Максимально використовувати стандартні елементи, які мають досить широку область застосування.

12.9. Використовувати модульний принцип конструювання, при якому з невеликого числа стандартних елементів (універсального набору) можна зібрати любий виріб в заданому класі (наприклад, універсально-збірні пристрої, універсальна система елементів промислової пневмоавтоматики).

12.10. Максимально використати в спроектованому об'єкті освоєні в виробництві вузли та деталі.

12.11. Максимально використовувати точне лиття, штамповку, зварювання та заготовки з розмірами, які близькі до розмірів готової деталі.

12.12. Вибрати найбільш доцільне розділення ТО на блоки, вузли, деталі.

12.13. Вибрати матеріал, який забезпечує мінімальну працемісткість виготовлення деталей.

Навчально-методичне видання

Анісімов Володимир Миколайович

**МЕТОДОЛОГІЯ ТА ОРГАНІЗАЦІЯ
НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ**

Навчально-методичні рекомендації
до проведення лабораторних, практичних та індивідуальних занять

Електронне видання

Експертний висновок склала кан. техн. наук, доц. Світлана Негруб

Зареєстровано НМВ УДУНТ (№ 45 від 02.05.2025)

В авторській редакції

Комп'ютерна верстка В. М. Анісімов

Формат 60×84 1/16. Ум. друк. арк. 5,74. Обл.-вид. арк. 5,82.

Зам. № 59.

Видавець: Український державний університет науки і технологій
вул. Лазаряна, 2, ауд. 2216, м. Дніпро, 49010.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 7709 від 14.12.2022