

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО**

**Інженерно-фізичний факультет  
Кафедра ливарного виробництва чорних і кольорових металів**

«На правах рукопису»  
УДК 621-74

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри  
\_\_\_\_\_ Ямшинський М.М.  
(підпис)

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**Магістерська дисертація**

**на здобуття ступеня магістра  
зі спеціальності 136 Металургія**

**на тему: «Вплив хімічного складу та оброблення поверхні на експлуатацію виливків з  
алюмінієвих сплавів»**

Виконав: студент II курсу, групи ФЛ-81мп

**Деркач Данііл Олександрович** \_\_\_\_\_  
(підпис)

Науковий керівник **ас. Лук'яненко Іван Віталійович** \_\_\_\_\_  
(підпис)

Консультант з економічно-організаційної частини **к.е.н., доц. Нараєвський С.В.** \_\_\_\_\_  
(підпис)

Консультант з нормоконтролю **к.т.н., доц. Федоров Г.Є.** \_\_\_\_\_  
(підпис)

Рецензент **к.т.н., доц. Доній О.М.** \_\_\_\_\_  
(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ 2019 р.

**Національний технічний університет України**  
**“Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”**

Факультет інженерно-фізичний  
Кафедра ливарного виробництва чорних та кольорових металів  
Рівень вищої освіти – другий (магістерський)  
Спеціальність 136 Металургія

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри  
М.М. Ямшинський  
(підпис) (ініціали, прізвище)  
“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

### ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Деркачу Даніїлу Олександровичу

- 1. Тема дисертації:** «Вплив хімічного складу та оброблення поверхні на експлуатацію виливків з алюмінієвих сплавів»,  
науковий керівник: Лук'яненко Іван Віталійович, асистент,  
затверджені наказом по університету від № 3890-с від 12 листопада 2019 року
- 2. Термін подання студентом дисертації:** “07” грудня 2019 року
- 3. Об'єкт дослідження:** поверхневе оброблення виливків із алюмінієвих сплавів різних марок
- 4. Предмет дослідження:** вібропоглинальні властивості покриття зразків із алюмінієвих сплавів за різних температурних умов експлуатації
- 5. Перелік питань, які потрібно розробити:**
  - 5.1 Провести літературний огляд стану питань та сформулювати задачі дослідження;
  - 5.2 Визначити методику дослідження для вирішення поставлених задач;
  - 5.3 Провести експерименти та обробити отримані дані;
  - 5.4 Розробити рекомендації щодо застосування покриття;
  - 5.5 Оцінити параметри економічної ефективності наукового дослідження та розробити на його основі стартап-проект;
  - 5.6 Розробити заходи з охорони праці на робочому місці;
  - 5.7 Сформулювати загальні висновки та рекомендації.
- 6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу:** презентація (13 слайдів).

- 6.1 «Назва роботи»;
- 6.2 «Руйнівна дія вібрації на деталі автомобіля з алюмінієвих сплавів»;
- 6.3 «Виливки «Кронштейн» для кріплення двигуна до кузова автомобіля»;
- 6.4 «Мета і задачі дослідження»;
- 6.5 Схема установки для вимірювання амплітуди коливань у зразках (DIN EN ISO 6721);
- 6.6 «Вплив вібропоглинального покриття на амплітуду коливань зразків»;
- 6.7 «Вплив товщини покриття на амплітуду коливань зразків»
- 6.8 «Вплив температури експлуатації та товщини шару покриття на амплітуду коливань зразка зі сплаву EN AC 46000»;
- 6.9 «Вплив температури експлуатації та товщини шару покриття на амплітуду коливань зразка зі сплаву EN AC 43000»;
- 6.10 «Номограма для визначення амплітуди коливань за різних умов для сплаву EN AC 46000»;
- 6.11 «Номограма для визначення амплітуди коливань за різних умов для сплаву EN AC 43000»;
- 6.12 «Стартап-проект».
- 6.13 Висновки.

## 7. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Економічно-організаційна частина	Нараєвський С.В., доцент		
Нормоконтроль	Федоров Г.Є., доцент		

8. Дата видачі завдання: 02 вересня 2019 року

## Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Переддипломна практика	02.09...27.10.2019р.	
2	Опрацювання та аналіз літератури за темою дослідження	02.09...15.11.2019р.	
3	Розроблення методики дослідження	02.09...27.10.2019р.	
4	Планування та проведення експериментів	02.09...27.10.2019р.	
5	Аналіз результатів експериментів	16.11...25.11.2019р.	
6	Розрахунок економічно-організаційних показників	26.11...30.11.2019р.	
7	Аналіз стану охорони праці на робочому місці	01.12...02.12.2019р.	
8	Підготовка та оформлення ілюстративної частини магістерської дисертації	03.12...04.12.2019р.	
9	Оформлення магістерської дисертації	05.12...06.12.2019р.	
10	Подання магістерської дисертації до захисту	07.12.2019р.	
11	Рецензування магістерської дисертації	07.12...09.12.2019р.	
12	Захист магістерської дисертації	18.12.2019р.	

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

Науковий керівник

\_\_\_\_\_ (підпис)

Деркач Д.О.

(прізвище та ініціали)

Лук'яненко І.В.

(прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

**Магістерська дисертація:** 89 с., 19 табл., 24 рис., 50 посилань.

**Об'єкт дослідження** – поверхнєве оброблення виливків із алюмінієвих сплавів різних марок.

**Предмет дослідження** – вібропоглинальні властивості покриття зразків із алюмінієвих сплавів за різних температурних умов експлуатації

**Мета роботи** – визначення впливу параметрів вібропоглинального покриття виливків із алюмінієвих сплавів за різних температур експлуатації на поширення вібрації конструкцією автомобіля.

**Методика досліджень** – у дисертації застосовано методику визначення амплітуди коливань у алюмінієвих зразків при різних товщині вібропоглинального покриття та температурі експлуатації.

**Результати досліджень** – досліджено межі впливу вібропоглинального покриття для виливків із алюмінієвих сплавів на їх здатність створювати опір їх подальшому поширенню та визначено оптимальну температуру експлуатації.

**Основні показники** – рекомендований шар покриття для більшого опору вібрації складає 3 мм для зразку товщиною 6 мм. Найкращі умови експлуатації при температурах -20 та +80 °С.

**Ступінь впровадження** – досліджувані зразки і вплив на них вібропоглинального покриття перевірено в умовах International Casting Industries.

**Область застосування** – металургія, ливарне виробництво, автомобільна промисловість.

**Економічна ефективність** – умовний економічний ефект 57557,06 грн.

**Прогнозовані припущення щодо розвитку об'єкта дослідження** – збільшення терміну експлуатації деталей автомобілів.

АЛЮМІНІЄВИЙ СПЛАВ, МАРКА СПЛАВУ, ВІБРАЦІЯ, ЧАСТОТА, АМПЛІТУДА КОЛИВАНЬ, ВІБРОПОГЛИНАЛЬНЕ ПОКРИТТЯ, ОБРОБЛЕННЯ, ТЕМПЕРАТУРА, ЕКСПЛУАТАЦІЯ, ЛИТТЯ ПІД ВИСОКИМ ТИСКОМ.

## ABSTRACT

**Master's thesis:** 89 p, 19 tab, 24 fig., 50 references.

**The object** – coating treatment of castings of aluminum alloys of different brands.

**Subject** – vibration-absorbing properties of coating of aluminum alloy samples under different operating conditions.

**The purpose of the work** – determination of influence of parameters of vibration-absorbing coating of castings of aluminum alloys at different temperatures of exploitations on the spreading of vibration by the car structure.

**Methodology of research** – in the dissertation the method of determination of oscillation amplitude in aluminum samples at different thickness of vibration-absorption coating and operating temperature is applied.

**The results** – the limits of the influence of vibration-absorbing coating for castings of aluminum alloys on their ability to resist their further propagation are investigated and the optimum operating temperature is determined.

**The main indicators** – the recommended coating layer for greater vibration resistance is 3 mm for a 6 mm thick sample. Best operating conditions at -20 and +80 °C.

**The rate of implementation** – the samples tested and their effect on the vibration-absorbing coating were tested under International Casting Industries.

**Application area** – metallurgy, foundry, automobile industry.

**Economic efficiency** – conditional economic effect 57557,06 UAH.

**Foreseeable assumptions about the development of the research object** – increasing the service life of car parts.

ALUMINUM ALLOY, ALLOY BRAND, VIBRATION, FREQUENCY, VIBRATION-ABSORBING COATING, TREATMENT, TEMPERATURE, OPERATING, HIGH-PRESSURE DIE-CASTING.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	10
1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧЬ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	11
1.1 Алюміній та його сплави.....	11
1.1.1 Розвиток і розповсюдження алюмінієвих сплавів в автомобільній промисловості.....	12
1.1.2 Приклади алюмінієвих сплавів, що застосовуються для виготовлення автомобілів.....	15
1.2 Лиття під високим тиском в автомобілебудуванні.....	22
1.2.1 Загальні відомості.....	22
1.2.2 Межі використання ЛПВТ в автомобілебудуванні.....	26
1.2.3 Роль ЛПВТ у промисловості.....	27
1.2.4 Статистичні заходи щодо покращення якості виливків, виготовлених за технологією ЛПВТ.....	28
1.2.5 Сучасні машини ЛПВТ.....	32
1.3 Вібрація, що виникає в автомобілі під час роботи двигуна .....	34
1.3.1 Шляхи подолання вібрації в автомобілі.....	36
1.3.2 Втомне руйнування.....	37
1.4 Виробництво сучасних деталей із алюмінієвих сплавів для автомобільної промисловості.....	38
1.5 Висновки та постановка задач дослідження.....	39
2 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	41
2.1 Шихтові матеріали і технологія виплавляння алюмінієвих сплавів....	41
2.2 Контроль хімічного складу сплаву.....	42
2.3 Виготовлення дослідних зразків та методика нанесення вібропоглинального покриття.....	42
2.4 Визначення вібрації.....	44
2.5 Планування експерименту.....	45
2.6 Висновки до розділу.....	46

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА.....	47
3.1 Дослідження впливу хімічного складу алюмінієвого сплаву на вібропоглинальні властивості деталей.....	47
3.2 Визначення впливу оброблення поверхні на здатність деталей до поглинання вібрації.....	49
3.3. Встановлення впливу температурних умов експлуатації литих деталей на показники амплітуди вібраційних коливань.....	52
3.4 Висновки до розділу.....	57
4 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	58
4.1 Науково-технічна актуальність НДР.....	58
4.2 Розрахунок витрат на проведення НДР.....	58
4.2.1 Витрати на оплату праці.....	59
4.2.2 Єдиний соціальний внесок.....	60
4.2.3 Матеріали, необхідні для проведення досліджень.....	60
4.2.4 Енергоносії для проведення досліджень.....	61
4.2.5 Витрати на спеціальне обладнання.....	61
4.2.6. Вартість послуг сторонніх організацій.....	61
4.2.7 Витрати на службові відрядження.....	61
4.2.8 Інші витрати по темі.....	61
4.2.9 Накладні витрати.....	62
4.2.10 Розроблення планової калькуляції кошторисної вартості теми.....	62
4.3 Економічна ефективність НДР.....	63
4.4 Висновки до розділу.....	66
5 ОХОРОНА ПРАЦІ НА РОБОЧОМУ МІСЦІ.....	67
5.1 Аналіз параметрів приміщення.....	68
5.2 Аналіз освітленості приміщення.....	69
5.3 Аналіз шуму в приміщенні.....	70
5.4 Аналіз електромагнітного випромінювання радіочастотного діапазону.....	70
5.5 Аналіз геометрії робочого місця.....	71

	9
5.6 Електробезпека.....	71
5.7 Пожежна безпека.....	73
5.9 Висновки до розділу.....	75
6 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ.....	76
6.1 Короткий опис проекту.....	76
6.2 Бізнес-модель.....	76
6.2.1 Цінний продукт.....	76
6.2.2 Сегмент споживачів.....	76
6.2.3 Канали збуту.....	77
6.2.4 Взаємодія з споживачами.....	77
6.2.5 Дохід (монетизація).....	77
6.2.6 Ключові види діяльності.....	77
6.2.7 Ключові ресурси.....	77
6.2.8 Ключові партнери.....	78
6.2.9 Витрати.....	78
6.3 Споживчі властивості товару.....	78
6.4 Дослідження ринку.....	78
6.5 Дослідження конкурентного оточення.....	79
6.6 Маркетингова стратегія просування.....	79
6.7 Елементи фінансового плану.....	79
6.7.1 Опис бізнес-проекту.....	79
6.7.2 Опис товару/послуги/технології.....	80
6.7.3 Маркетинг та продаж.....	80
6.7.4 Фінансовий план.....	80
6.7.5 Резюме.....	81
ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ.....	83
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	84

## ВСТУП

На сьогоднішній день одними з найпоширеніших у автомобільній промисловості є алюмінієві сплави. Це обумовлено рядом переваг перед сплавами із чорних металів, серед яких вища питома міцність, менша температура плавлення, краща корозійна стійкість.

Використання нової сировини у виробництві дало змогу не лише використовувати традиційні способи виготовлення у спрощеному вигляді, а й розглядати інші технології, які раніше не застосовувались як основні для створення продукції із чорних металів. Враховуючі особливості сплавів на основі алюмінію, таким способом стало лиття під високим тиском.

Швидкий цикл виробництва та менші безповоротні втрати сировини у поєднанні із наведеними вище особливостями алюмінієвих сплавів, а також переважно невеликими габаритними розмірами виливків роблять поєднання способу лиття під високим тиском і сплавів на основі алюмінію найбільш оптимальним вибором для автомобільної промисловості.

Хоча це вирішує ряд ливарних питань, під час виготовлення деталей для автомобільної промисловості не вдається обійти проблеми, що виникають під час експлуатації готового транспортного засобу, а саме вібрації та шуму, що спричинені роботою двигуна та конструкцією автомобіля, й які спричиняють скорочення терміну служби автомобіля та дискомфорт водія та пасажирів під час експлуатації.

До подолання цієї проблеми підходять ще під час розроблення концепції автомобілю. Однак більш продуктивним та менш ресурсозатратним способом вирішення питання вібрації серед існуючих способів є додаткове оброблення виливків, метою якого є створення в конструкції транспортного засобу вібропоглинального середовища.

# 1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ДОСЛІДЖЕННЯ

## 1.1 Алюміній та його сплави

Алюміній один з найпоширеніших металів у промисловості. Його сплави зустрічаються у авіаційній, енергетичній, автомобільній галузях тощо. Чистий алюміній має температуру плавлення  $660^{\circ}\text{C}$ . Кристалічна решітка являє собою гранецентрований куб з періодом  $4,04 \text{ \AA}$ . Його електропровідність поступається лише сріблу та міді. За рахунок утворення оксидної плівки  $\text{Al}_2\text{O}_3$  має високу корозійну стійкість. Межа міцності при розриванні складає до  $70 \text{ МПа}$ , а межа текучості до  $30 \text{ МПа}$ . Залежно від кількості домішок розрізняють марки первинних алюмінієвих сплавів [1].

Утворення сплавів алюмінію базується на легуванні його іншими елементами, наприклад міддю, магнієм, цинком, марганцем і т.д. Усі алюмінієві сплави можна поділити на деформовані та ливарні [1].

Деформовані алюмінієві сплави застосовуються для отримання заготовок (профілів тощо) і подальшого виготовлення з них виробів шляхом деформацій або механічного оброблення. Ці сплави, в свою чергу, діляться на термічно не зміцнюючі та зміцнюючі. Перші – дуже пластичні, гарно деформуються, добре зварюються та мають високу корозійну стійкість. Другі – зазвичай, підлягають різним процесам термічного оброблення, зокрема старінню.

Ливарні алюмінієві сплави застосовують у автомобільній промисловості завдяки високій рідкотекучості, що обумовлена наявністю евтектики у сплавах. Зазвичай, такі сплави не можна покращувати термічною обробкою, тому до них застосовують модифікування. Однак доевтектичні сплави АЛ4 та АЛ9 можна піддавати загартуванню від  $530^{\circ}\text{C}$  та штучному і природньому старінню. Їх ливарні властивості, однак, будуть гіршими, ніж у евтектичних сплавів.

### **1.1.1 Розвиток і розповсюдження алюмінієвих сплавів в автомобільній промисловості**

Алюмінієві сплави в автомобільній промисловості переважно використовувались для мало- або ненавантажених виробів. Однак зростаючий попит на більш економічні транспортні засоби для зменшення споживання енергії та забруднення повітря змусив виробників автомобілів переглянути основні засади виробництва. Характерні властивості алюмінію: високе співвідношення жорсткості та маси, здатність до деформації, хороша корозійна стійкість та потенціал переробки зробили його ідеальним кандидатом для заміни більш важких матеріалів (сталі або міді) в автомобілі, щоб відповідати сучасним вимогам автомобільної промисловості [2].

На вибір матеріалів для виготовлення автомобілів впливає низка факторів, якими керуються автовиробники. Занепокоєння щодо глобального потепління та економія енергії суттєво впливає на вибір матеріалів, завдяки чому можна заощадити використання палива.

Виробники автомобілів докладають зусиль для підвищення ефективності роботи звичайних двигунів, для розроблення нових трансмісій, типу гібридних систем, та для зменшення маси автомобіля. Останнє є особливо важливим, оскільки очікується збільшення середньої маси автомобіля, оскільки автомобільна промисловість продовжить розробляти нові моделі з підвищеним комфортом, зручністю, роботою та безпекою, як цього вимагають клієнти. Функції безпеки, такі як антиблокувальні системи, подушки безпеки та підвищена конструкція кузова, сприяють збільшенню маси автомобіля. Хоча автомобільні компанії відповіли на це вдосконаленням конструкції та ефективністю трансмісій, ці додаткові вдосконалення ще не дали значного зменшення загальної маси.

Якщо цього вдасться досягти, доведеться кардинально збільшити використання легких матеріалів. Основне правило полягає в тому, що 10% зниження ваги приблизно дорівнює 5,5% покращенню економії палива [3]. Важливим фактом є те, що зниження ваги несе хвильовий ефект на

економічність палива. Наприклад, зниження маси дозволяє виробнику розвивати однакові характеристики автомобіля з меншим двигуном, а такий менший двигун дозволяє використовувати меншу коробку передач і менший паливний бак. Завдяки цьому підраховано, що 10% зменшення ваги автомобіля призводить до 8...10% покращення економії палива.

Прийнято вважати [4], що застосування алюмінію у виробництві автомобілів є результатом останніх тенденцій розвитку. Проте будівництво легких автомобілів із застосуванням інноваційних матеріалів, таких як алюміній, відбувається вже не одне століття [5], навіть незважаючи на те, що сьогодні більшість автовиробників надають перевагу сталі. Цікаво, що вимоги щодо збереження навколишнього середовища виконуються не лише виробниками, а й споживачами, які слідкують та перевіряють усі відповідні показники. У цьому відношенні алюміній може розглядатися як потенційне інженерне рішення: його щільність становить приблизно третину сталі, а особливо високоміцні алюмінієві сплави задовольняють вимоги до міцності та жорсткості деталей автомобіля. Однак, алюмінієва сировина дорожча за сталь – це одна з головних причин того, що алюміній тривалий час залишався рішенням насамперед у виробництві автомобілів преміум-сегменту [6]. На прискорення заміщення алюмінію на сталь в основному впливають законодавчі вимоги для дотримання норм економії пального та переробки. Найбільшою перешкодою все ще залишається висока вартість алюмінієвої сировини і, в багатьох випадках, вищі витрати на виготовлення алюмінієвих деталей. Однак і алюмінієва, і автомобільна промисловість доклали зусиль, щоб зробити алюміній вигідною альтернативою сталі [7].

Проте, просто замінити матеріал деталі є недостатньою умовою. Оскільки матеріали мають різні властивості, то і вибір розплаву має враховуватися вже під час проектування, починаючи з дизайну та інженерного застосування. Хороший приклад наводиться таким підходом у Volvo [8], де чітко визначили, що заміна матеріалів часто призводить до абсолютно нових дизайнерських концепцій і потребує значного доопрацювання розробок.

Іншим чималим фактором впливу на заміщення алюмінієм сталі є вартість нового матеріалу. Вона завжди порівнюється з ціною попередника і це визначає, чи буде перехід з одного матеріалу на інший вигідним. Найпростіше порівняння витрат могло б бути зосереджене лише на різниці в ціні поточного та заміщуючого матеріалу, однак воно набагато складніше: інженери-технологи добре знають, що новий матеріал часто означає різні умови експлуатації та навіть у багатьох випадках абсолютно різні процеси. Зміну матеріалу необхідно враховувати не лише інженерам-технологам, а й інженерам-конструкторам. Використання нового матеріалу може призвести до значних змін у технологічних процесах, що може призвести до їх повного перепроєктування для забезпечення поставлених завдань. Тому порівняння лише цін на матеріал не коректне, оскільки не враховує важливі наслідки заміни матеріалу, які часто можуть домінувати у процесі прийняття рішень. Тому аналіз витрат на заміну матеріалів повинен включати принаймні такі пункти: вартість сировини, а також вартість проектування та виготовлення виробу. Алюмінієві сплави коштують дорожче, ніж більшість використовуваних в даний час сталей. Тому їх конкурентоспроможність часто може бути досягнута за рахунок нижчих витрат на виробництво, підвищеної функціональності, кращої стійкості до корозії тощо.

За даними авторів [4], алюмінієві виливки дешевші, ніж чавунні – це головна причина того, що алюмінієві виливки вже широко використовуються в виробництві автомобілів протягом багатьох років. Однак компоненти з алюмінію в основному дорожчі за свої чорні аналоги. Тому рішення щодо вибору легких сплавів повинні бути аргументовані, наприклад, щодо покращеної функціональності. Однак деякі урядові постанови, наприклад, про охорону навколишнього середовища, підвищення економії пального або підвищення безпеки пасажирів, часто можуть мати більший вплив, ніж вартість [9].

За даними [10] маса сучасного легкового автомобілю складає від 600 кг до 1,5 т, а кількість деталей у ньому знаходиться в діапазоні від 8 до 12 тис. Використання алюмінієвих сплавів замість класичних чавунних або сталевих

дозволило зменшити загальну кількість деталей автомобіля і, як наслідок, його масу за рахунок конструктивних змін, що позитивно вплинуло на експлуатаційні характеристики автомобіля.

Основними напрямками в розвитку автомобілебудування є: модернізація конструкції, розвиток двигунів, застосування нових матеріалів, в тому числі алюмінієвих сплавів. Зараз більш сприятливіше середовище до створення та розвитку нових алюмінієвих сплавів в даній галузі.

### **1.1.2 Приклади алюмінієвих сплавів, що застосовуються для виготовлення автомобілів**

На сьогоднішній момент чимала кількість автомобільних деталей виготовляється із алюмінієвих сплавів. Це можуть бути як деталі двигуна, так і каркас або внутрішні панелі автомобілю. Однак основні вимоги до алюмінієвих сплавів для отримання зовнішніх деталей корпусу автомобілів сформовані [11] та представлені наступним чином:

- розмір зерна – 2...50 мкм;
- середній показник  $\sigma_{0,2}$  не нижче 110...150 МПа;
- відношення  $\sigma_{0,2}/\sigma_B < 0,55$ ;
- здатність до підвищення  $\sigma_{0,2}$  до 250...300 МПа при штучному старінні;
- висока корозійна стійкість, в тому числі опір корозії.

Складність виготовлення деталей, в основному, визначається їх масою, розмірами та конфігурацією. Великі деталі важче виготовити, оскільки потрібне більше обладнання, а геометрія виробів змушує докладати зусиль під час розроблені технології виготовлення.

Згідно до патенту [12] застосовуються два типи алюмінієвих сплавів для деталей кузову автомобіля: термічно не зміцнюючі Al-Mn серії 3000 та Al-Mg серії 5000, а саме марки 5182, що мають дрібнозернисту структуру і добре піддаються штампуванню (хімічний склад наведено в таблиці 1.1).

Таблиця 1.1 – Хімічний склад сплаву 5182 [13]

Елемент	Al	Mg	Mn	Fe	Zn	Si	Cu	Cr	Ti	Інші
Мін.	93,20	4,0	0,20	0	0	0	0	0	0	0
Макс.	95,80	5,0	0,35	0,25	0,20	0,15	0,10	0,10	0,10	0,15

У дослідженні [14] встановлено, що при виготовленні елементів каркасу, обшивки кузова і т.п. перспективним матеріалом виявляються алюмінієві сплави АД31, 1915 (пресовані профілі) і сплави АМг2, АМг5 (лист). Для виготовлення окремих вузлів легкового автомобіля (навісні деталі, бампери, радіатори охолодження, опалювачі) широко використовуються алюмінієві сплави АМц, АМг3 і 1915 [14].

В автомобілебудуванні США [14] широко використовуються алюмінієві зварювані сплави серії 3xxx, 5xxx і 6xxx. Із заготовок, отриманих прокатом, зі сплавів 2014 і 6061 виготовляють балки та рами важких вантажних автомобілів. Панелі та окремі елементи зі сплаву 5052 надходять на виготовлення кабіни. В якості матеріалу обшивки кузова вантажівки застосовують листи із сплавів 5052, 6061, 2024, 3003 і 5154. Стійки кузова виготовляють із заготовок, отриманих прокатом, зі сплавів 6061 і 6063. Магнієві сплави серії 5xxx (5052, 5086, 5154 і 5454) є основним матеріалом для виготовлення автоцистерн.

Європейська алюмінієва асоціація [15] виділила основні сімейства алюмінієвих сплавів на основі легувального елемента:

- Al-Si(-Cu);
- Al-Cu;
- Al-Mg(-Si);
- Al-Zn(-Si).

Більшість литих алюмінієвих деталей виготовляють із алюміній-кремнієвих сплавів (силумінів), завдяки їх ливарним властивостям (рис. 1.1).

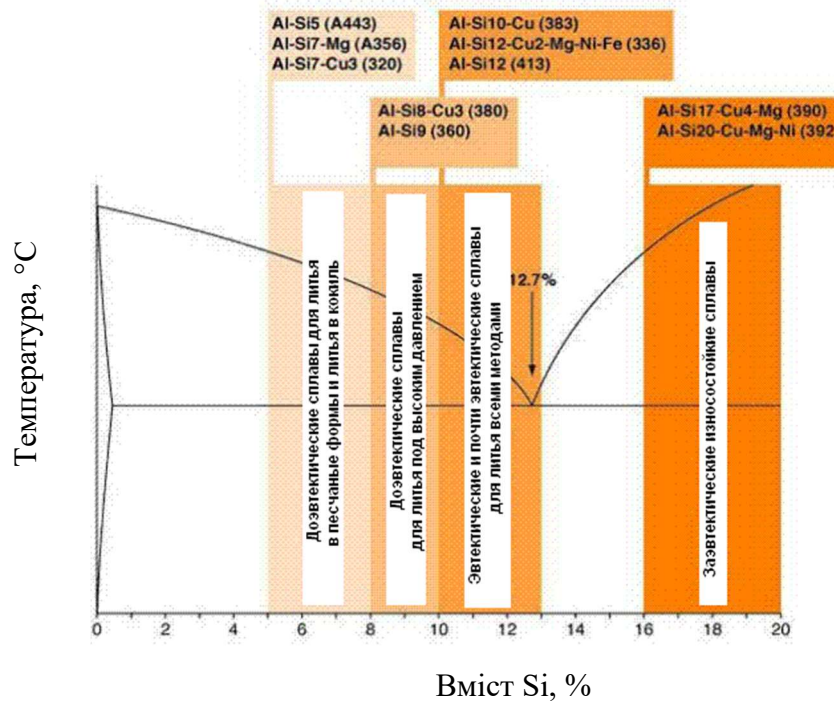


Рисунок 1.1 – Схематична діаграма стану алюмінієво-кремнієвих ливарних сплавів [15]

Деякі сплави алюмінію з міддю, магнієм та цинком мають кращі механічні властивості, однак їх ливарні властивості гірші. Зокрема вони схильні до утворення гарячих тріщин.

Отже, основними перевагами сплавів системи Al-Si є хороші ливарні властивості: висока рідкотекучість та опір до утворення гарячих тріщин.

За даними [15] додавання до сплавів цієї системи магнію покращує механічні властивості, а міді – збільшує міцність за високих температур.

Групою дослідників [16] особливо виділяються сплави серії 3000 (Al-Si-Cu або Al-Si-Mg) як найбільш розповсюдженими для виготовлення наступних деталей:

- сплав 319 для випускного колектору, головки циліндру та корпусу трансмісії;
- сплав 383 для блоку циліндрів;
- сплав 356 для головки циліндрів;
- сплав 3A356 для дисків коліс та важелів підвіски.

Виливки цих сплавів виготовляють литтям в піщані форми, в металеві форми та за моделями, що витоплюються. Суспензійне та лиття під тиском застосовують, якщо до деталей висунуті високі вимоги щодо точності.

Згідно з іноземними дослідженнями [17], представлений у 1994 році перший пластичний алюмінієвий сплав Silafont®-36 став провідником до більш широкого застосування лиття під високим тиском для виготовлення деталей. Хімічний склад сплаву наведено в табл. 1.1.

Таблиця 1.2 – Хімічний склад сплаву Silafont®-36 [17]

Елемент	Si	Fe	Mn	Mg	Zn	Cu	Ti	Sr	Інші	Al
Мін.	9,5	0	0	0,5	0,1	0	0,04	0,01	0	решта
Макс.	11,5	0,15	0,03	0,8	0,5	0,07	0,15	0,02	0,1	

Такий вміст кремнію забезпечує гарні ливарні властивості. Вміст заліза обмежений для того, щоб запобігти утворенню інтерметалідної  $\beta$ -AlFeSi фази, що негативно впливає на динамічні властивості та на відносне видовження. Такий вміст марганцю зумовлено тим, що при меншій кількості виливок буде прилипати до форми, тоді як при більшій його кількості у структурі матеріалу зросте кількість  $Al_{12}Mn_3Si_2$  фази, що призведе до погіршення властивостей. Мідь та цинк в такій кількості забезпечують необхідну корозійну стійкість. Титан покращує структуру та ливарні властивості. Понижений вміст магнію робить сплав більш пластичним та з меншою межею текучості, тоді як збільшений вміст збільшує межу текучості і знижує відносне видовження.

Ключовою відмінністю Silafont®-36 від інших сплавів для лиття під тиском це високе відносне видовження в литому стані (5...12 %), а межа текучості становить 120...150 МПа (рис. 1.2.).

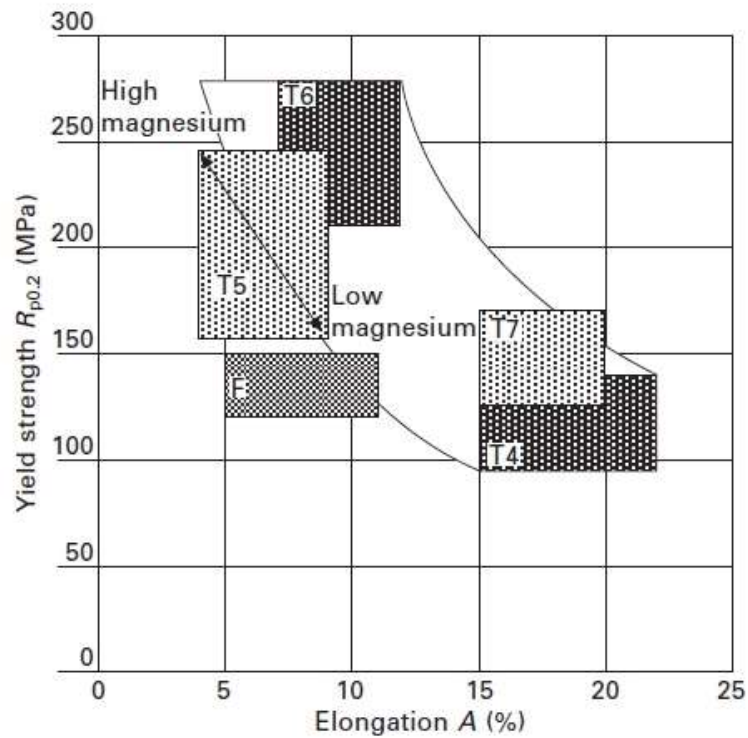


Рисунок 1.2 – Показники межі текучості і відносного видовження сплаву Silafont®-36 із різним вмістом магнію та режимами термічного оброблення [17]

Іншим дуже поширеним сплавом є EN AC-46000 (AlSi9Cu3(Fe)), хімічний склад якого наведено в табл. 1.2.

Сплав застосовується для відповідальних деталей автомобіля, зокрема для відділів двигуна. Тому до його перевірки підходять особливо відповідально.

Виливок масою 0,9 кг із декількома випробувальними зонами для різних механічних досліджень зображено на рис. 1.3

Таблиця 1.3 – Хімічний склад сплаву EN AC-46000 (AlSi9Cu3(Fe)) [18]

Елемент	Al	Si	Cu	Fe	Zn	Mg	Mn	Ni	P	Ti	Cr	Sn	Інші
Мін.	79,7	8,0	2,0	0	0	0,05	0	0	0	0	0	0	0
Макс.	90,0	11,0	4,0	1,3	1,2	0,55	0,55	0,55	0,35	0,25	0,15	0,15	0,25

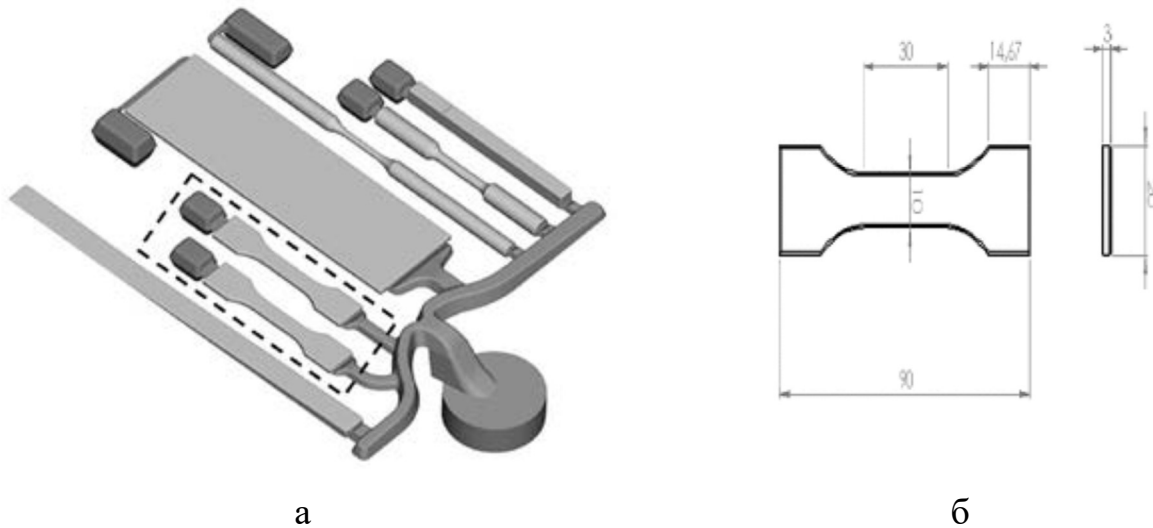


Рисунок 1.3 – Приклад досліджуваних зразків, виготовлених способом лиття під тиском (позначено пунктиром) (а); ескіз зразка для визначення тимчасового опору при розриванні (б) [17]

В описаному [17] дослідженні плоскі зразки номінальною товщиною 3 мм пройшли випробування одновісною втомою. Довжина та ширина датчика відповідно становлять 35 та 10 мм. Середні статичні показники розтягу цих зразків в умовах межі плинності, граничної міцності на розрив та подовження становлять відповідно 165 МПа, 315 МПа та 4%.

Попередні мікроструктурні дослідження [17] на деяких зразках проводилися за різними методиками. Зокрема, мікроструктурні спостереження проводилися за допомогою оптичної (ОМ) та сканувальної електронної мікроскопії (SEM), тоді як ідентифікація фаз проводилася за допомогою рентгенівської дифракції (XRD). Крім того, оцінку розміру та текстури зерна проводили дослідженням електронно-розсіяної дифракції (EBSD). Після випробування на втому поверхню та профіль руйнування вивчали для оцінки виникнення та розповсюдження тріщин методом оптичної та сканувальної електронної мікроскопії.

Типова мікроструктура сплаву поблизу поверхні показана на рис. 1.4 (а), а на рис. 1.4 (б) зображена мікроструктура в центрі зразка. Варто зазначити, що різниця між спостережуваними мікроструктурами пояснюється різними

швидкостями охолодження, що виникають на поверхні та в центрі. Дендрити  $\alpha$ -Al не розвинені в довжину і демонструють розеткоподібну морфологію, що характерно для кульової структури зерна, де розмір зерна можна порівняти зі значеннями SDAS. Далі була досліджена структура зерна в центрі поперечного перерізу зразків, а розподіл розміру зерна побудовано на рис. 3а. Виділені зерна розподіляються за розміром відповідно до трипараметричного логічно-нормального розподілу. Середні значення розміру зерна та міжряддя середнього дендриту (SDAS) у зоні ядра зразків дуже схожі, як показано в табл. 1.3.

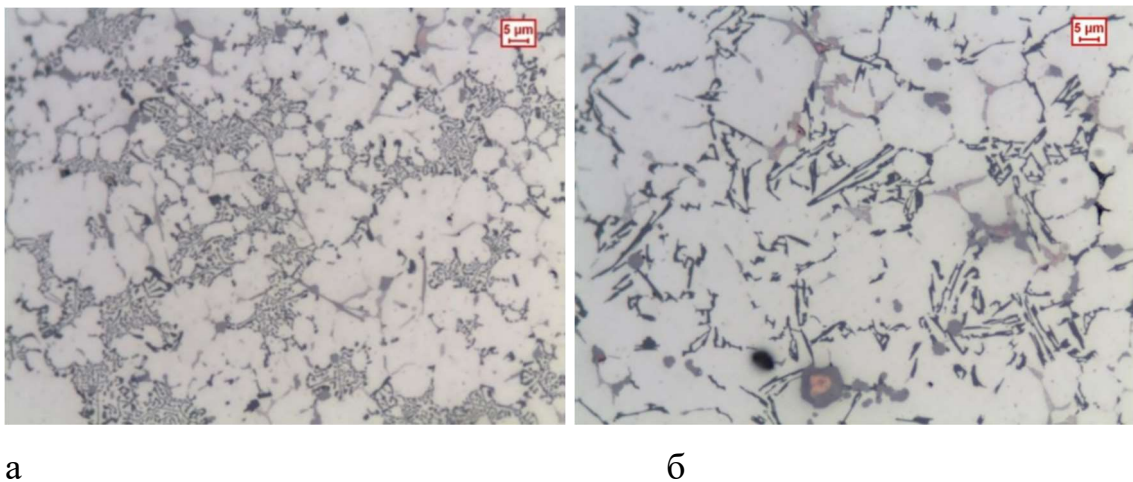


Рисунок 1.4 – Типова структура ОМ зразка: біля поверхні (а); в центрі (б) [17].

Ще одним сплавом для виготовлення автомобільних деталей є EN AC-43000 (AlSi10Mg). Це сплав на основі алюмінію щільністю близько  $2,67 \text{ г / см}^3$  [19]. Його застосовують для тонкостінних компонентів та деталей зі складною геометрією. EN AC-43000 придатний для переробки та характеризується хорошою стійкістю в агресивних атмосферах, а також високою електропровідністю. Поєднання високих показників міцності при збереженні динамічної навантажувальної здатності дозволяє використовувати його для деталей, які працюють під навантаженням. Завдяки такому характеру властивостей, EN AC-43000 в даний час є одним із найпоширеніших сплавів на основі алюмінію. Компоненти EN AC-43000 ідеально підходять для

використання в таких сферах, як космічна техніка та автомобільна промисловість. Хімічний склад сплаву наведено в табл. 1.4.

Таблиця 1.4 – Хімічний склад EN AC-43000 [20]

Елемент	Al	Si	Mg	Fe	Mn	Ti	Zn	Ni	Sn	Pb	Cu	Інші
Мін.	87,0	9,0	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Макс.	90,8	11,0	0,45	0,55	0,45	0,15	0,1	0,05	0,05	0,05	0,05	0,25

Алюмінієві сплави зазнають широкого використання в автомобільній промисловості, і з часом все більше замінюють біль «важкі» аналоги. З кожним роком все більш відповідальні деталі виготовляють саме з алюмінію, причому литтям. З урахуванням сучасних тенденцій, а саме продуктивність, якість та екологічність виробництва, найоптимальнішим способом лиття для виготовлення виливків з алюмінієвих сплавів в автомобільній промисловості є лиття під високим тиском.

## 1.2 Лиття під високим тиском в автомобілебудуванні

### 1.2.1 Загальні відомості

Спосіб лиття під високим тиском (ЛПВТ) заснований на заповненні порожнини металевої прес-форми шляхом примусового руху розплаву за допомогою прес-поршня. Тиск, що діє на метал має бути більшим за гравітаційний на декілька порядків, оскільки порожнина нічим не оброблена, і процес має перебігати швидко [21].

Розрізняють [21] машини з холодною та гарячою камерами пресування. Використання спеціальних машин для лиття під високим тиском дає можливість комплексно автоматизувати технологічний процесу, що сприяє суттєвому покращенню санітарно-гігієнічних умов роботи.

Процес лиття під високим тиском проводиться вже більше 100 років. Вперше його застосували в 1838 році для виготовлення типографського

шрифту. В машинобудуванні спочатку його використовували лише для цинку, але сьогодні це вибір за замовчуванням для легких металів, коли обсяг виправдовує масове виробництво. Колиски двигуна, деталі підвіски та двигуна, поперечні елементи та вузли для конструкцій космічної рами – типові приклади виробів, розроблених за допомогою ЛПВТ.

Перші алюмінієві виливки були виготовлені способом ЛПВТ наприкінці XIX ст. У 1920-ті ЛПВТ використовували в точному машинобудуванні та приладобудуванні. До кінця 1990-х років розробки в системі ЛПВТ були зосереджені головним чином на обладнанні. Вважається, що ЛПВТ є придатним для простого лиття вторинних сплавів з низькими витратами і не розглядався як складний високотехнологічний процес.

Починаючи з 1990-х років, після буму в автомобільній промисловості, більше уваги приділялося технології, які раніше вважалися «додатком» основного виробничого процесу. Необхідність розроблення більш складних виливків визначалася постійним вдосконаленням та ускладненням нових автомобілів, а це, в свою чергу, змусило інженерів-ливарників прагнути до більш якісного процесу ЛПВТ.

ЛПВТ володіло рядом переваг, що обумовлювали його подальший розвиток та розповсюдження по всій промисловості. Основні показники цього способу: точність розмірів, шорсткість поверхні, механічні властивості, щільність та геометричність. Ці показники обумовлені наступними особливостями ЛПВТ:

- короткочасність заповнення форми – завдяки високому тиску (до 500 МПа) швидкість заповнення металу може досягати 140 м/с;

- відсутність газопроникності матеріалу прес-форми – метал не пропускає крізь себе гази та не допускає впливу зовнішнього середовища. Вентиляція у ЛПВТ забезпечується спеціальними вентиляційними каналами;

- дрібнозерниста структура – завдяки високому тепловому обміну, швидкість охолодження достатньо висока, що надає змогу отримати бажану структуру металу;

- підвищена щільність, герметичність та механічні властивості виливку завдяки впливу тиску від прес-поршня у камері пресування;

- висока точність поверхні із низькою шорсткістю, що обумовлено металевими формами.

Серед інших переваг: можливість виготовлення дрібних виливків (товщина стінки менше 1 мм), багатократність використання форми, покращення санітарно-гігієнічних умов.

У роботі [17] автори виділяють три основні фази протікання процесу ЛПВТ:

- перша або повільна;
- друга або швидкісна;
- третя або інтенсивна, яка полягає в використанні гідравлічного тиску для отримання якісного виливку.

Машина ЛПВТ містить дві плити: нерухому та рухому або ежекторну. Коли машина відкривається, вилівок залишається у ежекторній частині, з якої, мехнічно або гідравлічно, вилучається штифтами.

ЛПВТ – це циклічний процес, послідовність якого зображена на рис. 1.5. Виділені напівжирним прямокутники означають подачу, просування на заливання, а інші, пунктирні позначають необов'язкові процеси.

Як тільки двері зачинились, починаються фази процесу, описаного вище. Машина починає перше накопичення енергії і очікує подачі рідкого металу в камеру. Після цього плунжер буде подавати розплав в порожнину прес-форми. Розплавлений метал залишається в порожнині прес-форми до тих пір, поки метал не затвердіє. Як тільки це відбулося, прес-форма буде відкрита затискним механізмом в дві фази: відкриття під високим тиском і швидке переміщення.

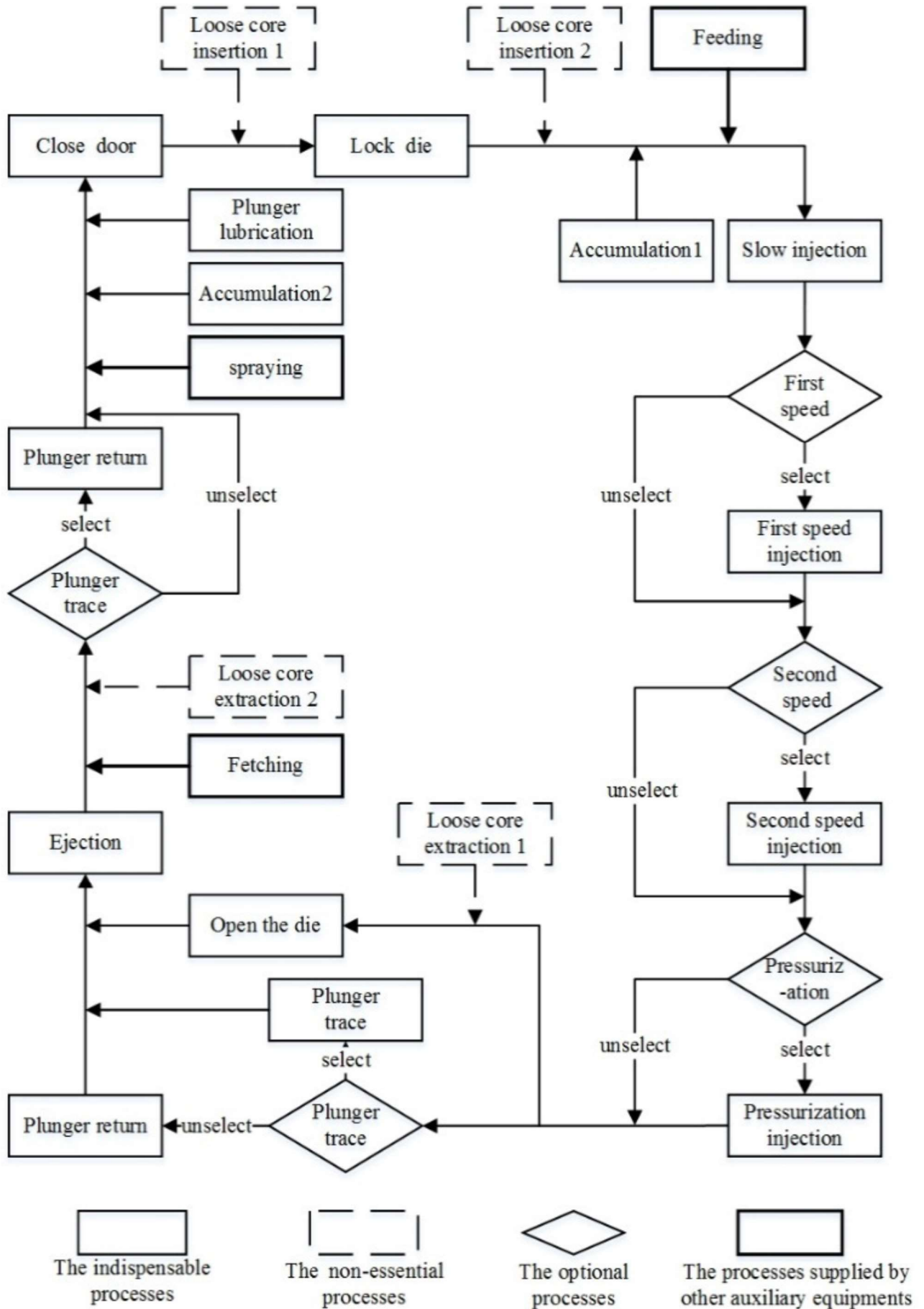


Рисунок 1.5 – Технічний цикл роботи машини лиття під високим тиском [18]

ЛПВТ вимагає великих інвестицій з точки зору обладнання. Незважаючи на посилення контролю якості, фактор вартості все ще має велике значення. Високі темпи виробництва, тривалий термін експлуатації обладнання, короткі простої та час циклу є важливими для керівників ливарних підприємств. Заощадливе виробництво вимагає зменшити кількість термічного оброблення. Якщо це можливо, деталь повинна працювати одразу після вилучення із машини ЛПВТ. Це зменшує споживання енергії та виключає дорогі додаткові операції. Крім того, інженери-конструктори мають змогу при проектуванні деталі закладати у неї більшу кількість завдань та робити конфігурацію складнішою. Контроль якості деталей, вибір матеріалу, технічна та економічна обґрунтованість, вибір матеріалу впливають на кінцеву вартість. У більшості випадків слід вибирати компроміс, враховуючи ступінь складності вилівку.

### **1.2.2 Межі використання ЛПВТ в автомобілебудуванні**

Основні області застосування алюмінієвих виливків, виготовлених ЛПВТ можна розділити на категорії, в залежності від їх функції:

- двигун та допоміжні системи;
- силовий агрегат;
- інтер'єри та електроніка;
- шасі та кузов.

Деталі двигуна та їх допоміжні системи піддаються низьким механічним навантаженням, майже лише статичним. Найважливішими вимогами є властивості при підвищеній температурі, герметичність та зносостійкість. Тому немає необхідності в дорогих альтернативах головкам блоків циліндрів, масляних відстійників, впускних колекторів, водяних насосів і кришок, які можна відливати ЛПВТ звичайними сплавами AlSiCu (Fe).

Частини силових агрегатів також в основному піддаються помірним нединамічним напруженням, що сприяє використанню традиційних сплавів. Сплави магнію є хорошою альтернативою, щоб ще суттєвіше знизити масу в коробках передач, фланцях і муфтах. Для цих деталей вибір між алюмінієм і

магнієм часто робиться виходячи з поточної вартості сировини і, отже, кінцевої вартості готової деталі та умов її експлуатації.

Металеві деталі для використання в інтер'єрах здебільшого виготовляють з магнієвих сплавів з метою зниження маси автомобіля. Панелі приладів та опори приладної панелі, рами сидінь та консолі, а також рульові колеса та електронні корпуси виготовлені з магнієвих сплавів шляхом ЛПВТ. Застосування тут алюмінію доцільно, якщо необхідні спеціальні властивості, наприклад електропровідність або вимоги до зовнішнього вигляду.

Конструкція кузову, як правило, є найвибагливішою з точки зору механічних властивостей. Потрібні найвищі показники міцності в поєднанні з найвищими показниками пластичності, оскільки вся конструкція повинна поглинати найбільшу кількість енергії у разі аварії.

### **1.2.3 Роль ЛПВТ у промисловості**

Орієнтація на нові розроблення в області алюмінієвих сплавів для ЛПВТ вимагає більш ретельного вивчення високоміцних і високопластичних сплавів і металів, здатних знизити або навіть виключити термічне оброблення. Ці нові сплави зробили можливими застосування процесів, які навіть не розглядалися в минулому.

Технологія ЛПВТ завжди повинна бути відкалібрована до точного цільового рівня якості, як показано на рис. 1.6. Зростаючі вимоги вимагають більш відповідального контролю процесу. Виконання цих вимог означає реалізацію додаткових заходів на восьми схематичних рівнях, починаючи від простої розмірно-контрольованої частини, і закінчуючи термообробленими виливками. Встановлено [17], що основними факторами, які підлягають удосконаленню, є атмосфера робочої порожнини прес-форми, оброблення розплаву та продукти, які виділяються при взаємодії розплаву із формою. Найпоширеніші сплави, які відповідають сучасним вимогам до технології ЛПВТ наведено у нижньому рядку рис. 1.6.

#### **1.2.4 Статистичні заходи щодо покращення якості виливків, виготовлених за технологією ЛПВТ**

Покращення якості виливків, отриманих ЛПВТ, здійснюють не лише за рахунок удосконалення устаткування та оснащення, а за рахунок використання методів статистичного оброблення для поліпшення параметрів технологічного процесу. Автори роботи [22] вивчали формування пористості в алюмінієвих сплавах, оскільки пористість не тільки є причиною погіршення механічних властивостей виливків, але й негативно впливає на оброблюваність та поверхневі властивості алюмінієвих виливків. Значне зниження утворення пористості може бути досягнуто впровадженням процесу Тагучі у технологічний процес ЛПВТ.

Процес Тагучі – це статистичні методи, які іноді називають надійними методами проектування, розроблені Генічі Тагучі для поліпшення якості вироблених товарів. Впровадження його в промисловість почалося нещодавно, в тому числі і у ливарне виробництво. Тагучі пропонував три етапи для досягнення бажаної якості готового продукту, якими є: 1) проектування системи; 2) проектування параметрів; 3) проектування відхилень.

Проектування системи допомагає визначити відповідні робочі рівні параметрів проектування. На етапі проектування параметрів визначаються рівні коефіцієнтів, які дають найкращі показники процесу. Проектування відхилень – це спосіб тонкого налаштування результатів проектування параметрів шляхом посилення допуску факторів, що мають значний вплив на виріб. Такі кроки зазвичай ідентифікують потребу в інноваціях та ідентифікації кращих матеріалів, деталей, машин тощо. Тагучі рекомендує застосовувати статистичні експериментальні методи проектування для сприяння покращенню якості, особливо під час проектування параметрів та допуску.

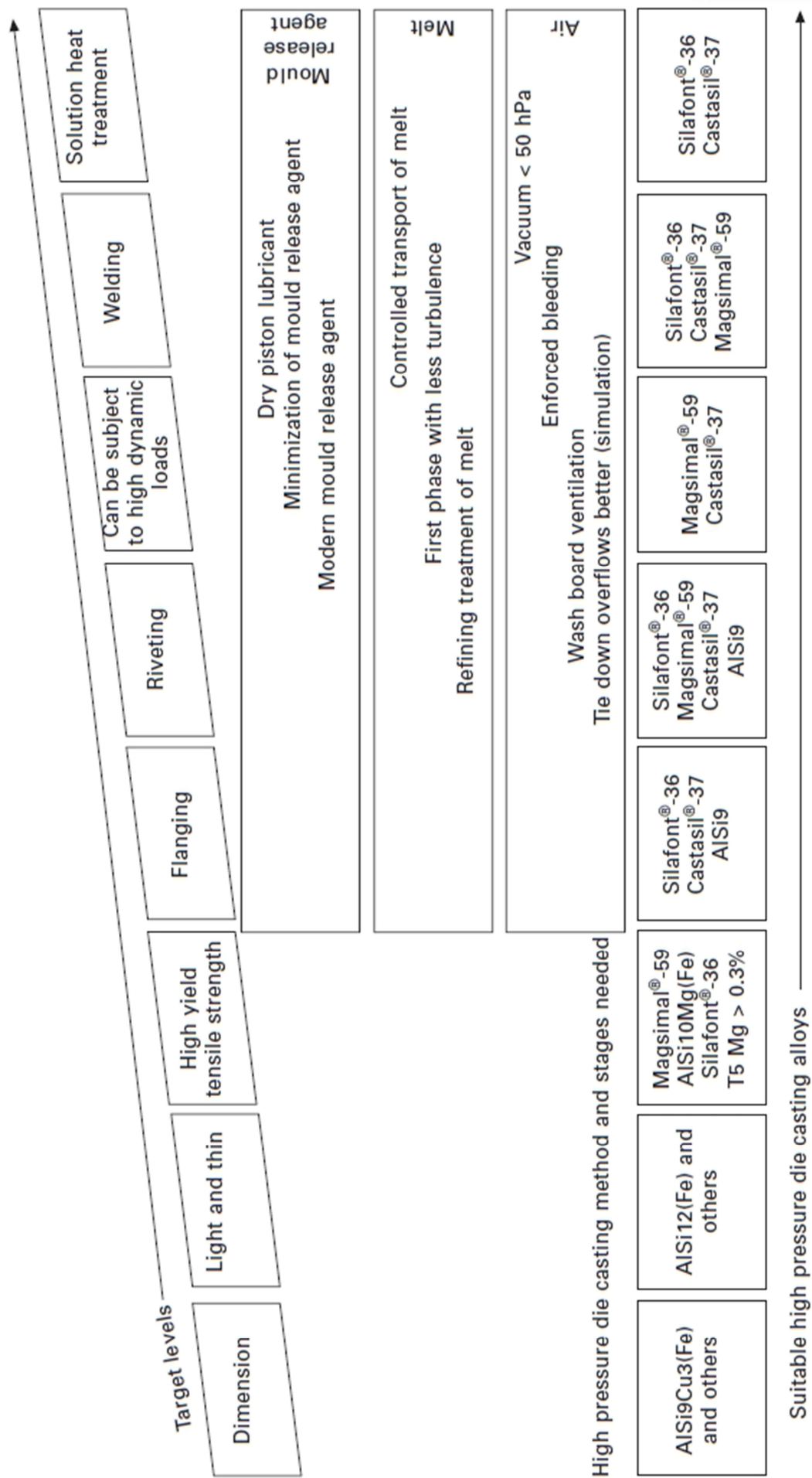


Рисунок 1.6 – Основні напрями, найбільш уживані сплави та галузі застосування ЛПВТ [22]

Діаграма причин та наслідків Ішікава (Ishikawa, рис. 1.7) створена для визначення параметрів процесу ЛПВТ, які можуть впливати на пористість вилівка. Серед обраних як найвпливовіші: температура заливання (А), час заливання (В), температура прес-форми (В) та тиск прес-форми (Д). Вибрані параметри процесу лиття разом з їх діапазонами наведені в табл. 1.5.

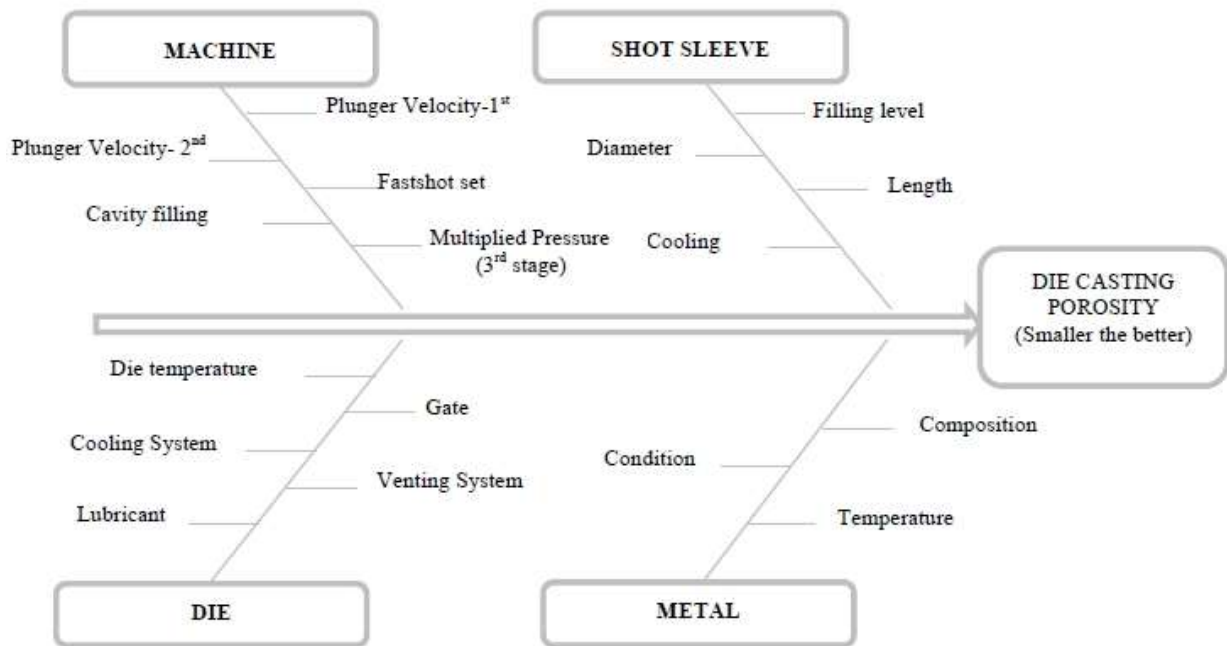


Рисунок 1.7 – Діаграма причин та наслідків [22]

Таблиця 1.5 – Параметри процесу з їх діапазонами та значеннями на трьох рівнях [22]

Позначення параметру	Назва параметру	Межі	Рівень 1	Рівень 2	Рівень 3
A	Температура заливання, °C	600...750	650	700	750
B	Час заповнення, с	40...130	40	85	130
C	Температура прес-форми, °C	180...260	180	220	260
D	Тиск вилучення, МПа	120...240	120	180	240

Експеримент проводився на машині ЛПВТ TDC-120. Випробувальним зразком була квадратна пластина з алюмінієвого сплаву EN AC-46000 розмірами 100 × 100 × 20 мм. Ця товщина випробування була обрана для полегшення експериментальної процедури. Ним було доведено, що

температура заливання, час заповнення, температура прес-форми та тиск заповнення – це впливові параметри процесу, що впливають на формування пористості в виливках з алюмінієвого сплаву EN AC-46500. Параметри наведено в табл. 1.6, а оптимальні рівні різних параметрів ЛПВТ для оптимальної щільності виливків мінімізації пористості були в табл. 1.7:

Таблиця 1.6 – Відсоткове значення кожного параметру до зміни пористості виливку [22]

Температура заливання, °С	43,606
Час заповнення, с	4,733
Температура прес-форми, °С	4,730
Тиск вилучення, МПа	46,961

Таблиця 1.7 – Оптимальні рівні параметрів ЛПВТ [22]

Температура заливання, °С	750	Третій рівень
Час заповнення, с	130	Третій рівень
Температура прес-форми, °С	180	Перший рівень
Тиск вилучення, МПа	240	Третій рівень

Промислову машину ЛПВТ моделі TDC-120 з холодною камерою пресування та зусиллям запирання 4500 кН, яку застосовували для експериментальних досліджень, показано на рис. 1.8.

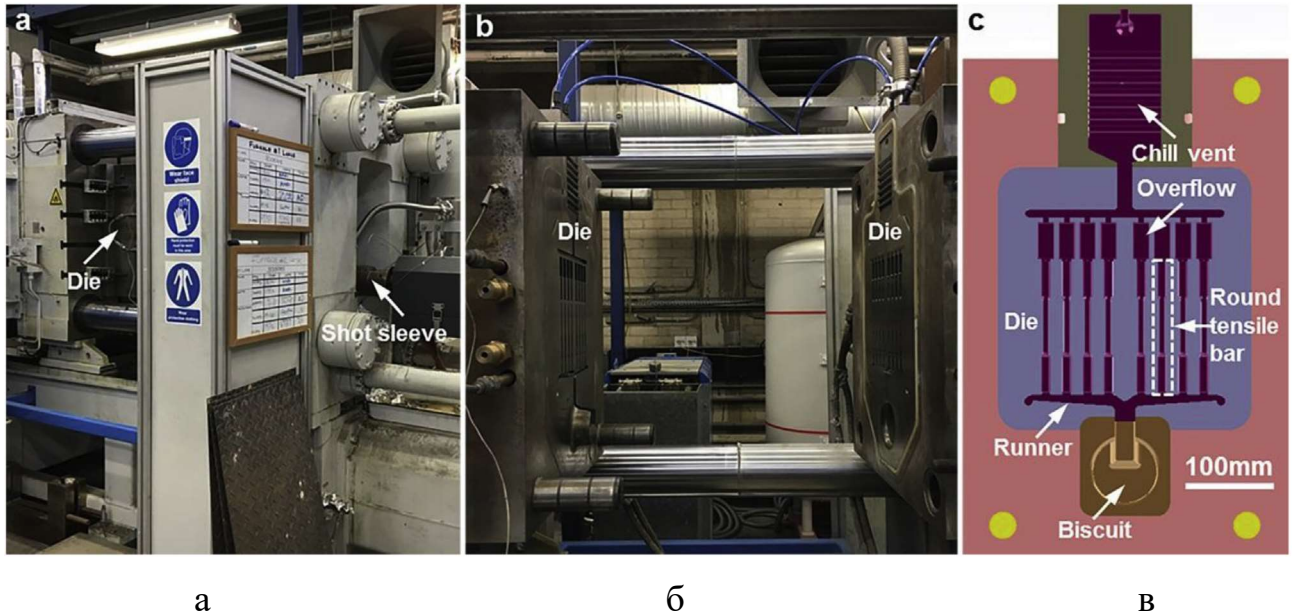


Рисунок 1.8 – Машина для лиття під тиском з холодною камерою пресування (а), прес-форма (б) і схема прес-форми з експериментальними зразками (в) [22]

### 1.2.5 Сучасні машини ЛПВТ

Як вже було зазначено, виготовлення виливків в автомобільній промисловості має забезпечити високу продуктивність, якість та задовольняти екологічним умовам. Серія J компанії Toshiba Machine – одні з найпоширеніших машин для лиття під тиском на західному ринку (технічні характеристики в табл. 1.8) [23].

Серія CS пропонує комп'ютеризовану машину з останніми розробками компанії, що включають високоміцний механізм блокування прес-форми, система вилучення SELECTROL та обладнання, що дозволяє максимально автоматизувати процес виготовлення виливків та знизити кількість робочого персоналу (технічні характеристики в табл. 1.9) [24].

Однак передовою розробкою компанії є гібридна машина нового покоління, яка забезпечує економію енергії, чистоту робочого місця, швидкий цикл виготовлення та малий вплив на навколишнє середовище. Застосувавши електричний привід на прес-форми машини з холодною камерою та поєднавши

із багатоступінчастою системою вилучення, компанія отримала першу таку машину (технічні характеристики в табл. 1.10) [25].

Таблиця 1.8 – Технічні характеристики машини ЛПВТ моделі DC135J-SC [23]

Характеристика	Одиниці вимірювання	Значення
Сила запирання	кН (т)	1350 (138)
Швидкість запресовування	м/с	0,05...7,0
Максимальні габаритні розміри прес-форми	мм	460 × 460
Висота прес-форми	мм	500...250
Товщина прес-форми	мм	350

Таблиця 1.9 – Технічні характеристики машини лиття під тиском моделі DC1000C [24]

Характеристика	Одиниці вимірювання	Значення
Сила запирання	кН (т)	9800 (1000)
Швидкість запресовування	м/с	0,1...4,5
Максимальні габаритні розміри прес-форми	мм	1020 × 1020
Висота прес-форми	мм	1200...600
Товщина прес-форми	мм	830

Таблиця 1.10 – Технічні характеристики машини лиття під тиском моделі DEC150MT [25]

Характеристика	Одиниці вимірювання	Значення
Сила запирання	кН (Т)	1500 (153)
Швидкість запресовування	м/с	0,05...10,0
Максимальні габаритні розміри прес-форми	мм	510 × 510
Висота прес-форми	мм	500...250
Товщина прес-форми	мм	360

### 1.3 Вібрація, що виникає в автомобілі під час роботи двигуна

В даний час автомобільна промисловість шукає всі варіанти, щоб забезпечити клієнтів продуктами, які будуть виробляти менше шуму, споживати менше палива, але при цьому бути однаково потужними. Це унікальна вимога стимулює створення кожного аспекту динамічної системи для подання в математичній моделі. Виріб повинен бути довговічним, менш шумним, потужним, а також елегантним. Найбільш складним фактором серед цих вимог є шум і вібрація системи, тому що кращий комфорт означає менше шуму, як це сприймається клієнтами [26].

Шум і вібрація, що виникають в салоні автомобіля, знижують комфорт водія та пасажирів [27]. Оскільки якість і конкурентоспроможність є ключовими характеристиками сучасної автомобільної промисловості, необхідно проаналізувати і діагностувати першопричину основного джерела шуму і вібрацій. Встановлено [27], що двигун є основним джерелом структурних коливань через недостатньо закріпленні опори, що також спричиняє надмірне зношення. Важливо пам'ятати, що жорсткість є складним явищем для відтворення у вібруючих системах. Технології з'єднання і, зокрема,

болтові з'єднання широко використовуються для запобігання вібрації і рівнів шуму в салоні.

Автомобіль являє собою коливальну систему, яка складається з декількох мас – кузова, коліс, двигуна, салону та ін. Ці маси ділять [28] на підресорені та непідресорені. Підресореною частиною машини називають всі її елементи, маса яких передається ресорам (пружному пристрою підвіски), кузов і рама з закріпленими на ній механізмами. Ті елементи, сила тяжіння яких не передається через пружний пристрій підвіски, називають непідресореними елементами (колеса у зборі та осі).

Двигун внутрішнього згоряння – це сконцентрована маса в транспортному засобі, і, якщо його не підтримувати належним чином, він викликає вібрації, що переноситься на несучі конструкції. Комфорт при їзді, стійкість водіння і керованість є важливими факторами, що впливають на експлуатаційні характеристики автомобіля, і на них впливають вібрації двигуна. Через екологічні вимоги, а також зміни в вимогах споживачів, викликані вібрації повинні бути зменшені.

Вібрації, які виникають в двигуні, бувають двох типів: крутильні і поздовжні. Обертання колінчастого валу двигуна збільшує тиск в циліндрі, коли поршень наближається до верхньої мертвої точки на такті стиснення. Займання і згоряння збільшують тиск відразу після цього, і тиск починає зменшуватися, коли поршень опускається до нижньої мертвої точки [29-32].

Явище стрибка, контроль вібрації та власні частоти систем двигуна пов'язані. В системі двигуна штовхач притискається до поверхні кулачка за допомогою утримуючої пружини. Через інерції штовхача та перевищення ним певної швидкості під час обертання кулачка штовхач може втратити контакт з кулачком, що призводить до виникнення вібрації. Це перехідний стан, який відбувається тільки з високошвидкісним двигуном. Під час стрибка кулачок і штовхач відокремлюються через вплив надмірно неврівноважених сил, які перевищують ступінь пружності в період негативного прискорення» [33, 34].

Вібраційна поведінка залежить від руху незбалансованих частин двигуна, циклічної зміни тиску газу, струшувальних сил, які виникають через зворотно-

поступальний рух і конструктивні характеристики опор. Вібрації двигуна виникають через зворотно-поступальні та обертальні маси двигуна. Зміни сил інерції обумовлені згорянням і відмінностями стиснення поршневого циліндра під час їх роботи. Інерційні сили двигуна призводять до неврівноважених сил двигуна, і вони змінюються в залежності від швидкості, подачі палива і характеристик згоряння палива. Для прогнозування вихідних вібрацій двигуна і мінімізації можливих проблем, пов'язаних з довговічністю його роботи, а також споживчими вимогами до якості, необхідна надійна і точна спроектована модель.

### **1.3.1 Шляхи подолання вібрації в автомобілі**

Щоб зменшити вібрацію двигуна, на стику двигуна та шасі повинні бути передбачені відповідні кріплення [35, 36]. Тиск на поршень створює тангенціальну силу, яка виконує корисну роботу і збільшує швидкість обертання колінчастого валу під час цього ходу згоряння, тоді як хід стиснення зменшує кутову швидкість двигуна. Зміна швидкості обертання призводить до коливань швидкості колінчастого валу і викликає його крутильні коливання. Зміни тиску згоряння під час низхідного руху створюють неврівноважені сили в блоці двигуна, де вони вимірюються як поздовжні коливання в трьох ортогональних напрямках. Вібрації можуть бути зменшені шляхом мінімізації неврівноважених сил і підтримки двигуна на відповідних опорах [37-39].

Опори двигуна повинні мати показники високої жорсткості і високого вібропоглинання в діапазоні низьких частот, а також низькою жорсткості і низького вібропоглинання в діапазоні високих частот. Гідравлічні опори не повністю відповідають таким вимогам. Хоча вони значно збільшують демпфірування на низьких частотах, вони також погіршують характеристики ізоляції на більш високих частотах. Гідравлічні кріплення не є економічно ефективними, мають складу конструкцію та низьку надійність. Хоча для систем кріплення транспортних засобів були розроблені різні типи гідравлічних опор, гумові опори і болтові з'єднання мають велике значення для комфорту їзди і

зниження рівня шуму. Болтові з'єднання можуть бути розраховані на необхідні характеристики швидкості пружної жорсткості у всіх напрямках для належної віброізоляції. Вони компактні, рентабельні і практично не вимагають технічного обслуговування [40-42].

Однак болтові з'єднання не можуть забезпечити повне гасіння вібрації та, як зазначено вище, розраховуються лише на певні умови експлуатації автомобіля. Значно розширює межі використання створення спеціального середовища у відповідних місцях конструкції автомобіля, яке здатне поглинути вібрацію ще на етапі її появи.

### **1.3.2 Втомне руйнування**

Одним з явищем, що може бути спричинене вібрацією є втомне руйнування. Це руйнування металу внаслідок циклічних навантажень. Окрім вібрації, що шкідливо діє на матеріал, причиною утворення цього дефекту може бути схильність сплаву до утворення тріщин. На відміну від одноразового статичного навантаження, втомне руйнування має низку особливостей [43]:

- воно настає за напружень, менших, ніж при статичному навантаженні, зазвичай менших від границі плинності;
- руйнування розпочинається на поверхні (чи поблизу неї) локально, у місцях концентрації напружень (деформації). Локальну концентрацію напружень створюють пошкодження поверхні в результаті циклічного навантаження або надрізи у вигляді слідів обробки, впливу середовища тощо;
- руйнування відбувається у декілька стадій, що характеризують процеси накопичення пошкоджень у матеріалі, утворення тріщин втоми, поступовий розвиток та злиття деяких з них в одну магістральну тріщину й швидке остаточне руйнування;
- руйнування має характерну будову зламу, яка відбиває послідовність процесів, що мали місце. Злам складається з осередку руйнування (місця утворення мікротріщини). Осередок руйнування примикає до поверхні зразка (деталі) та має невеликі розміри і гладку поверхню. Зону втоми формує

послідовний розвиток тріщини втоми. У цій зоні спостерігаються характерні рівці, які мають конфігурацію кілець, що свідчить про стрибкоподібне просування тріщини втоми. Зона втоми розвивається доти, поки у робочому перерізі, який зменшується, напруження зростуть настільки, що спричиняють його миттєве руйнування. Цю останню стадію руйнування характеризує зона доламу.

Однією з причин розвитку втомного руйнування в матеріалі може бути його неоднорідність, що спричинена наявністю різних домішок, шлаку або ж відмінної зернистої структури. На границях зерен, при тривалій дії вібрації виникає концентрація напружень, що призводить до мікропластичних деформацій деяких зерен металу. Потім розвивається зсув у мікротріщині, що інтенсивно зростає. Краї мікротріщини притираються один до одного, і зона росту мікротріщини відрізняється гладкою поверхнею. З часом, коли мікротріщина достатньо зростає, відбувається раптове крихке руйнування.

#### **1.4 Виробництво сучасних деталей із алюмінієвих сплавів для автомобільної промисловості**

В рамках переддипломної практики відвідано польсько-німецьке підприємство International Casting Industries, Polska Sp. z o. o. Sp. k. in Brzeg, Poland (ICI). Вивчено його структуру, ринки збуту, клієнтуру, постачальників. Досліджено технічне та технологічне оснащення підприємства.

Підприємство забезпечує виготовлення готової продукції, механічне оброблення та контроль якості як литих деталей із алюмінієвих сплавів, так і виробів із алюмінієвих профілів для автомобільної промисловості. Підприємство працює переважно для автовиробників у європейському регіоні.

Однією із задач ICI є виявлення та усунення дефектів у виливках, виготовлених за технологією лиття під високим тиском на заводах компанії Trimet AG та Pressmetal.

Переважаюча кількість дефектів виникла під час їх перевезення від місця виробництва виливків до ICI, однак умови їх виникнення та пошкодження

ділянки різняться. Найпоширеніші дефекти – пошкодження зовнішньої поверхні внаслідок удару та контакту з іншими виливками під час перевезення. У певних випадках були порушені умови транспортування, а в інших недостатня міцність вилівка, що є помилкою під час його проектування або розроблення технології виготовлення.

Крім виявлення та усунення ливарних дефектів, задачею підприємства під час роботи із виливками є проведення операцій нанесення спеціального покриття, яке дозволяє поглинати вібрацію при експлуатації автомобіля. Майбутні деталі кріплення моторного відділу типу кронштейни (рис. 1.10) обробляють спеціальним вібропоглинальним покриттям, яке створює середовище, у якому вібрація поглинається при розповсюдженні.



а



б

Рисунок 1.10 – Деталі кріплення автомобілю – кронштейни B57 RWD (а) та B47 RWD (б)

### 1.5 Висновки та постановка задач дослідження

У виробничих умовах International Casting Industries проаналізовано матеріал виливків, види деталей та способи їх оброблення для подальшої експлуатацію в галузі автомобілебудування. Встановлено, що використання алюмінієвих сплавів в автомобілебудуванні є найбільш доцільним для виготовлення деталей, а способом лиття, яке задовольняє вимоги індустрії, є лиття під високим тиском. Виливки, оброблення яких виконує підприємство, відносять до виливків відповідального призначення. У конструкції вони

забезпечують рівномірний розподіл маси двигуна на раму або кузов автомобіля та гасіння вібрації під час експлуатації.

Встановлено, що вібрація у автомобілі негативно впливає як на водія і пасажирів, так і на окремі деталі конструкції машини. Одним із способів вирішення проблеми, пов'язаної із негативним впливом вібрації у автомобілі, є нанесення на опорні деталі покриття, що дозволяє гасити вібраційні коливання на стадії їх розповсюдження.

Встановлено, на параметри вібрації впливає температура виробу за якої здійснюють його експлуатацію.

Метою роботи є визначення впливу параметрів вібропоглинального покриття виливків із алюмінієвих сплавів за різних температур експлуатації на поширення вібрації конструкцією автомобіля.

Для досягнення поставленої мети у роботі сформульовано наступні задачі:

1. Встановити вплив хімічного складу алюмінієвого сплаву на вібропоглинальні властивості деталей
2. Встановити вплив параметрів покриття на здатність деталей до поглинання вібрації;
3. Встановити вплив температурних умов експлуатації литих деталей на показники амплітуди вібраційних коливань;
4. Розробити рекомендації стосовно вибору параметрів вібропоглинального покриття для експлуатації виливків із алюмінієвих сплавів за різних температурних умов.

## 2 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 2.1 Шихтові матеріали і технологія виплавляння алюмінієвих сплавів

Для проведення досліджень у роботі використовували зразки із алюмінієвих сплавів марок EN AC 46000 та EN AC 43000 за DIN EN 1706, хімічний склад та механічні властивості яких наведено у таблицях 1.3, 2.1 та 1.4, 2.2 відповідно.

Таблиця 2.1 – Механічні властивості сплаву EN AC 46000 [19]

Характеристика	Одиниці вимірювання	Значення
Твердість	НВ	91
Модуль пружності	ГПа	73
Відносне видовження при розриванні	%	1,0
Межа міцності	МПа	270
Межа текучості	МПа	160
Густина	г/см <sup>3</sup>	2,8

Таблиця 2.2 – Механічні властивості сплаву EN AC 43000 [21]

Характеристика	Одиниці вимірювання	Значення
Твердість	НВ	94
Модуль пружності	ГПа	71
Відносне видовження при розриванні	%	1,1
Межа міцності	МПа	270
Межа текучості	МПа	230
Густина	г/см <sup>3</sup>	2,6

Для приготування сплаву використовували шихтові матеріали у вигляді чушки готового хімічного складу та зворот власного виробництва. Плавлення здійснювали у електричній печі опору, рафінування сплаву проводили

хлористими та фтористими солями натрію та калію. Контроль температури сплаву проводили термопарою К типу (хромель-алюмель).

Зразки з алюмінієвих сплавів виготовлялись за технологією лиття під високим тиском. Параметри процесу відповідали тим, за якими виготовляють деталі для роботи у досліджуваних умовах.

## **2.2 Контроль хімічного складу сплаву**

Контроль хімічного складу готового сплаву визначали за допомогою рентгенофлуоресцентного аналізу. Його суть полягає у взаємодії на метал рентгеновського випромінювання і аналізу флуоресценції за допомогою спеціального портативного спекетру. Ідентифікація сплаву визначається шляхом визначення унікальної комбінації декількох елементів у вказаних композиційних діапазонах. Точний аналіз досягається шляхом використання відповідної корекції матриці міжелементного впливу.

Матеріал, що підлягає аналізу протягом декількох секунд піддається рентгенофлуоресцентній взаємодії. Атоми елементів у матеріалі збуджуються і влучають фотони з енергією, специфічній для кожного елемента. Датчик виявляє та накопичує фотоелектрони, що надходять із зразка в енергетичній області, та, по мірі загальної інтенсивності у кожній області, виявляю концентрації елемента [44].

## **2.3 Виготовлення дослідних зразків та методика нанесення вібропоглинального покриття**

Досліджуваний зразок являє собою пластину. Її ескіз наведено на рис. 2.1. Геометричні параметри пластини: довжина 24 мм, ширина 12 мм, товщина 6 мм. Для виготовлення пластини зазначеним способом лиття використовувалась машина IDRA OL1200R, з холодною горизонтальною камерою пресування, технічні характеристики якої вказані в табл. 2.3.

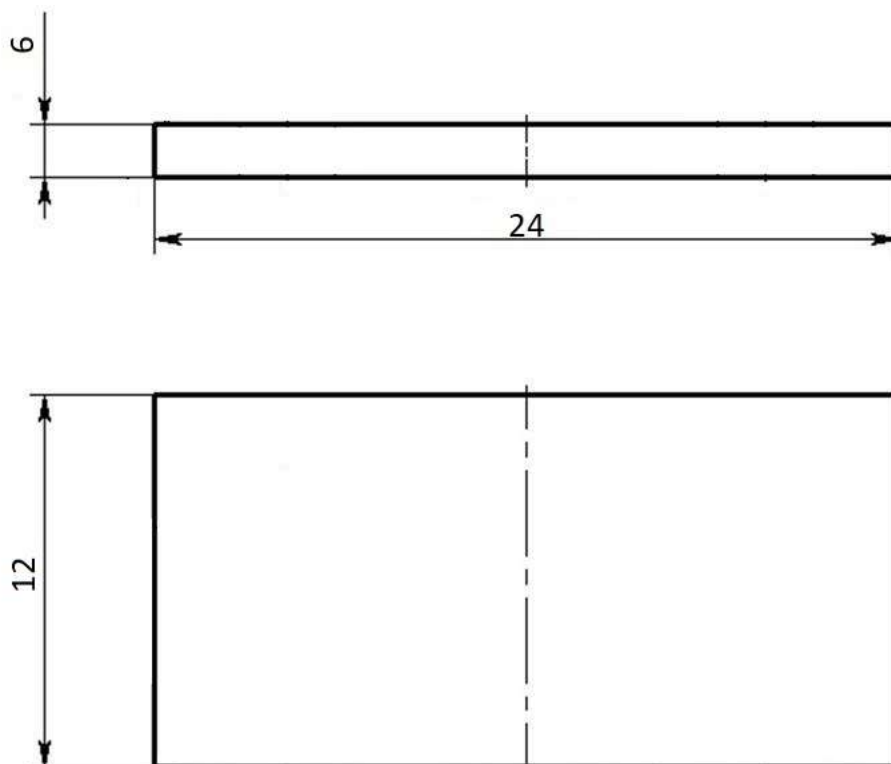


Рисунок 2.1 – Схема досліджуваного зразка

Таблиця 2.3 – Технічні параметри машини ЛПВТ IDRA OL1200R [45]

Параметр	Одиниця вимірювання	Значення
Зусилля запирання	т	1124
Зусилля вприскування	кН	828
Зусилля вилучання	кН	483
Макс. висота прес-форми	мм	1150
Мін. висота прес-форми	мм	550
Розміри плити (В × Ш)	мм	1600 × 1600
Відстань між колонами	мм	1050 × 1050
Діаметр колон	мм	230
Хід рухомої плити	мм	1100
Хід вилучання	мм	230
Максимальна маса виливка	кг	16,6
Потужність двигуна	кВт	55
Маса машини	т	56
Розміри машини (Д × Ш × В)	м	9,2 × 3,0 × 4,2

Нанесення вібропоглинального покриття відбувалось наступним чином: пневматичним насосом покриття вилучається з ємності та за допомогою пульверизатору наносили на одну зі сторін пластини. Після нанесення необхідної кількості покриття, пластину поміщають у сушильну піч RE-120, та витримують там за температури 80 °C протягом 1,5 години.

## 2.4 Методика визначення вібрації

Зразок піддавали синусоїдальному поперечному навантаженню. Заміряли амплітуди циклічного навантаження.

Згідно до DIN EN ISO 6721, вимірювальне обладнання фіксувало амплітуди навантаження зразка, до якого прикладена поперечне синусоїдальне навантаження. Схема конструкції пристрою, що наведена на рис. 2.2, показує, що синусоїдне навантаження із частотою коливань 200 Гц створювалося вібратором V і передавалося зразку S через рухомі затискачі C<sub>1</sub>, у яких фіксувалися протилежні краї зразка. Амплітуду і частоту переміщення вібраційного столу заміряли і контролювали за допомогою датчика F. Зразок зафіксували у центрі нерухомим затискачем C<sub>2</sub>. Елементи пристрою навантаження між затискачами C<sub>1</sub> і вібратором V, а також між C<sub>2</sub> і F суттєво жорсткіші ніж у зразка, на мали нижчий коефіцієнт теплопровідності, оскільки пластина знаходилася у камері із регульованою температурою.

Цифрові засоби для оброблення даних реєстрували значення амплітуд циклічного навантаження  $\pm 1\%$  і частоти з точністю  $\pm 10\%$ .

Камера, у якій знаходився зразок разом із опорами і затискачами, спроектована таким чином, що температуру у ній можна регулювати. Температуру у камері під час випробування підтримували постійною із похибкою  $\pm 1$  C. Діапазон температур збільшувався ступінчасто, за ходом експерименту.

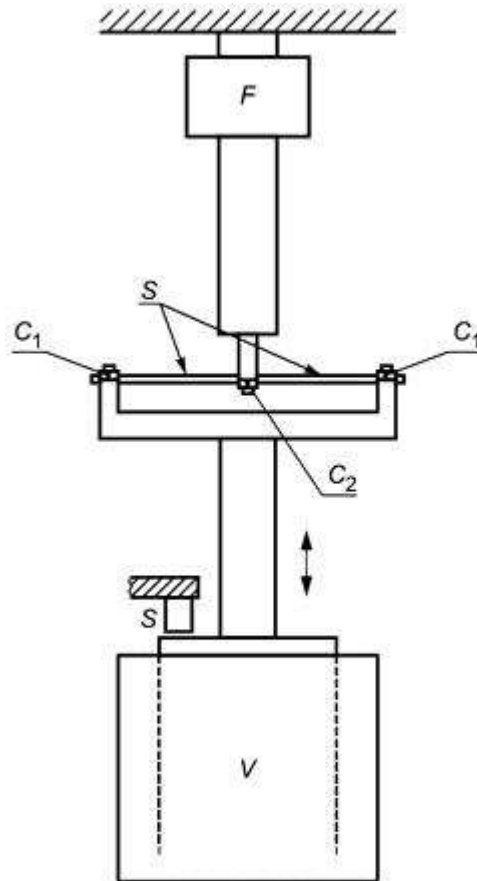


Рисунок 2.2 – Схема установки для вимірювання амплітуди коливань у зразках

## 2.5 Планування експерименту

За наведеною методикою визначено фактори, які впливають на поглинання вібрації під час дослідження зразків із сплавів обох досліджуваних марок: товщина вібропоглинального покриття  $x_1$  – 1, 2 та 3 мм; температура експлуатації  $x_2$  – від -20 до 80 з кроком 20 °С. Відгуком (у) обрано амплітуду коливань зразка.

Згідно з описаними факторами проведено по 18 дослідів для кожної марки сплаву. Матрицю експерименту наведено у табл. 2.4.

Оброблення отриманих результатів досліджень проводили на ПЕОМ.

Таблиця 2.4 – Матриця експерименту

№	x <sub>1</sub> (товщина покриття, мм)	x <sub>2</sub> (температура експлуатації, °C)	y (амплітуда коливань)
1	1	-20	
2	1	0	
3	1	20	
4	1	40	
5	1	60	
6	1	80	
7	2	-20	
8	2	0	
9	2	20	
10	2	40	
11	2	60	
12	2	80	
13	3	-20	
14	3	0	
15	3	20	
16	3	40	
17	3	60	
18	3	80	

## 2.6 Висновки до розділу

Визначено склад шихтових матеріалів та розроблено технологію виплавляння алюмінієвих сплавів.

Визначено параметри дослідних зразків, спосіб нанесення вібропоглинального покриття та методику визначення вібрації.

Розроблено план та побудовано матрицю експерименту.

### 3.5 Висновки до розділу

Встановлено, що алюмінієві сплави EN AC 46000 та EN AC 43000 схильні до впливу вібрації під час дії на них вимушених коливань, частотою 200 Гц.

Визначено, що без вібропоглинального покриття показники амплітуди коливань зразків із алюмінієвих сплавів EN AC 46000 та EN AC 43000 становлять 1,4 та 1,9 мм відповідно. Дані значення свідчать про вихід із ладу деталей через сумісний негативний вплив дії вібрацій та поруватості у них на протязі одного року експлуатації виробів.

Встановлено, що нанесення на поверхню зразків шар вібропоглинального покриття товщиною 1 мм знижує амплітуду коливань зразків із алюмінієвих сплавів EN AC 46000 та EN AC 43000 до 0,25 і 0,29 мм відповідно, тобто у 5...7 разів, що призводить до збільшення терміну їх експлуатації.

Досліджено, що при збільшенні товщини шару вібропоглинального покриття до 3 мм за нормальних умов збільшується здатність сплаву перешкоджати подальшому розповсюдженню вібрації по виливку, і значення коливань в такому разі складатимуть 0,12 та 0,13 мм відповідно.

Встановлено, що ще одним фактором впливу на показники амплітуди коливань для сплавів є температура середовища, при якій буде проходити експлуатація деталей.

Виявлено, що найбільш сприятливі умови для роботи деталей з найбільшою здатністю до поглинання вібрації від -20 до 0 °C та від 60 до 80 °C. В таких умовах, значення амплітуди коливань становлять 0,016 та 0,02 мм відповідно для зразків із алюмінієвих сплавів EN AC 46000 та EN AC 43000.

Встановлено, що застосування вібропоглинального покриття товщиною 3 мм забезпечує термін експлуатації деталі протягом періоду, зазначеного у вимогах автовиробників.

Розроблено номограми, які дозволяють підібрати відповідні умови експлуатації та параметри покриття для деталей, робота яких обмежена максимально допустимими значеннями амплітуди коливань.

## 4 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

### 4.1 Науково-технічна актуальність НДР

Ливарне виробництво дуже сильно пов'язане з автомобільною промисловістю. З кожним роком алюмінієві сплави все більше витісняють сплави з більш важких металів у якості основного матеріалу. І хоча використання алюмінію має багато переваг, деякі перешкоди звичайна зміна сплаву не вирішить, і певні деталі необхідно додатково оброблювати.

Однією з актуальних проблем при експлуатації є вібрація, що спричиняє шкоду не лише автомобілю і матеріалам, а й людям, які користуються транспортним засобом. Вібрація може як викликати вихід з ладу певних деталей, так і створювати шум при роботі, що ускладнює експлуатацію машини.

Способом вирішення проблеми вібрації є створення на опорних деталях моторного відділу вібропоглинального середовища. Це відбувається шляхом нанесення на кронштейни спеціального покриття, яка підвищує вібропоглинальні властивості і дає змогу гасити вібрацію до її появи.

Метою роботи є визначення впливу параметрів вібропоглинального покриття виливків із алюмінієвих сплавів за різних температур експлуатації на поширення вібрації конструкцією автомобіля.

### 4.2 Розрахунок витрат на проведення НДР

Розрахунок усіх витрат на НДР, пов'язаних з виконанням даної теми, дає можливість встановити її кошторисну вартість. Планування забезпечує зниження трудових і матеріальних витрат з метою отримання найкращих результатів за найменших витрат.

### 4.2.1 Витрати на оплату праці

Витрати за цією статтею включають в заробітну плату працівників усіх категорій, зайнятих виконанням робіт з даної теми науково-дослідницької роботи.

Заробітна плата розраховується на основі даних про трудомісткість окремих робіт і посадової оплати виконавців цих робіт. Розрахунок ведеться в людино-днях. Перелік робіт та трудомісткість зведено в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Трудомісткість робіт по НДР

Етапи НДР	Трудомісткість, людино-днів	
	Асистент	інженер-дослідник (магістр)
1. Уточнення та конкретизація завдання по темі дослідження	1	3
2. Аналіз публікацій з теми	2	12
3. Розробка методики проведення роботи	2	15
4. Проведення експерименту	1	10
5. Аналіз результатів	4	23
Разом	10	63

До виконання науково-дослідної роботи було залучено двох виконавців: асистент-викладач та інженер-дослідник (магістр).

Середньоденна заробітна плата за категоріями виконавців розраховується шляхом ділення їх посадового місячного окладу на 21,2 (де 21,2 – усереднене число робочих днів за місяць).

Результати розрахунку фонду заробітної плати з теми зведено до табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Розрахунок витрат на оплату праці

Посада виконавців теми	Планова трудомісткість, людино-днів	Заробітна плата, грн		
		посадовий місячний оклад	середньоденна зарплата	усього за виконавцями
1. Асистент	10	10720	505,66	5056,60
3. Інженер-дослідник (магістр)	63	0	0	0
Разом оплата праці науково дослідної роботи				5056,60

#### 4.2.2 Єдиний соціальний внесок

Єдиний соціальний внесок визначаються у відсотках від загального фонду заробітної плати виконавців з теми. Норматив відрахувань необхідно брати в розмірі 22% загального фонду заробітної плати:

$$BC = 5056,60 \cdot 0,22 = 1112,45 \text{ грн.}$$

#### 4.2.3 Матеріали, необхідні для проведення досліджень

Для проведення науково дослідної роботи необхідно мати наступне програмне забезпечення: Microsoft Word, Microsoft Excel, Adobe Acrobat Reader.

Перелічені програми, як і устаткування, в якості якого використовувалися комп'ютери, наявні в лабораторії обчислювальної техніки інженерно-фізичного факультету, на кафедрі «Ливарного виробництва чорних та кольорових металів».

#### **4.2.4 Енергоносії для проведення досліджень**

При виконання науково-дослідної роботи не проводилися плавки, нанесення покриттів термічною та хіміко-термічним обробленням тощо. В такому випадку витрати на енергоносії автоматично включаються в плановий кошторис по темі непрямо через статтю «Накладні витрати».

#### **4.2.5 Витрати на спеціальне обладнання**

В даній не використовувалось ніяке обладнання, окрім описаного у п. 4.2.3.

#### **4.2.6. Вартість послуг сторонніх організацій**

Сторонні організації до виконання науково-дослідної роботи не залучались. Всі роботи за даною темою проведені на кафедрі ливарного виробництва чорних і кольорових металів «КПІ імені Ігоря Сікорського».

#### **4.2.7 Витрати на службові відрядження**

Всі роботи проводились безпосередньо в лабораторіях кафедри ливарного виробництва чорних та кольорових металів, тому витрати на виробничо-наукові відрядження не передбачені.

#### **4.2.8 Інші витрати по темі**

Ця стаття поєднує в собі всі витрати на проведення НДР, які не увійшли до попередніх статей (оплата спеціалістів з інших організацій, оплата консультацій, використання обладнання інших організацій та інше).

При проведенні роботи на інші прямі витрати відводять 10% від суми прямих витрат на НДР:

$$V_i = (\text{ФЗП} + V_m + V_c) \cdot 0,1, \quad (4.1)$$

де ФЗП – фонд заробітної плати;

$V_m$  – вартість матеріалів, покупних виробів та напівфабрикатів;

$V_c$  – відрахування на соціальне страхування.

$$V_i = (5056,60 + 0 + 1112,45) \cdot 0,1 = 616,91 \text{ грн.}$$

#### 4.2.9 Накладні витрати

За цією статтею плануються витрати на заробітну плату управлінського та загальногосподарського персоналу; витрати на допоміжні виробництва; на охорону праці та техніку безпеки; поточний ремонт; витрати на утримання виробничої площі; на утримання й експлуатацію універсального обладнання для експериментальних цілей, тощо. Накладні витрати складають 20% від загальної суми прямих витрат по НДР, і визначаються за формулою:

$$H_B = (\text{ФЗП} + V_m + V_c + V_i) \cdot 0,2, \quad (4.2)$$

де ФЗП – фонд заробітної плати;

$V_m$  – вартість матеріалів, покупних виробів та напівфабрикатів;

$V_c$  – відрахування на соціальне страхування;

$V_i$  – інші витрати.

$$H_B = (5056,60 + 0 + 1112,45 + 616,91) \cdot 0,2 = 1357,19 \text{ грн.}$$

#### 4.2.10 Розроблення планової калькуляції кошторисної вартості теми

Планова кошторисна вартість НДР визначається як сума витрат за окремими статтями вартості. Розрахунок за всіма статтями витрат зведено до табл. 4.4.

Таблиця 4.4 – Планова калькуляція кошторисної вартості НДР

№ з/п	Найменування статей витрат	Сума, грн.	Обґрунтування
1	Витрати на оплату праці	5056,60	відповідно до розрахунків
2	Єдиний соціальний внесок	1112,45	відповідно до загальнодержавних нормативів
3	Матеріали для проведення досліджень	–	відповідно до розрахунків
4	Енергоносії для проведення досліджень	–	відповідно до розрахунків
5	Спецобладнання для наукових цілей	–	відповідно до розрахунків
6	Вартість послуг сторонніх організацій	–	–
7	Витрати на службові відрядження	–	відповідно до розрахунків
8	Інші невраховані прямі витрати по темі	616,91	10% від суми прямих витрат по темі
9	Накладні витрати	1357,19	відповідно до нормативів організації-виконавця теми
10	Усього витрат по темі	8143,15	сума попередніх статей
11	Кошторисна вартість теми	8143,15	сума попередніх статей

### 4.3 Економічна ефективність НДР

Дана НДР являє собою частину комплексної теми, у зв'язку з цим розрахунок прямої ефективності її результатів не виконується. Для визначення річного економічного ефекту скористаємося бальною системою оцінювання економічної ефективності за наступними показниками:

- важливість розробки (К1);
- можливість використання результатів розробки (К2);

- теоретичне значення та рівень новизни (К3);
- складність дослідження (К4).

Коефіцієнт К1 може приймати наступні значення:

- а) ініціативна робота, яка не входить до складу комплексної програми та не є завданням директивних органів – 1 бал;
- б) робота виконується за угодою про науково-технічне співробітництво – 3 бали;
- в) робота являє собою частину відомчої програми – 5 балів;
- г) робота являє собою частину комплексної міжвідомчої програми з елементами впровадження результатів – 7 балів;
- д) робота є частиною міжнародної комплексної програми – 8 балів.

Коефіцієнт К2 може приймати такі значення:

- а) результати розробки можна використати тільки в даному підрозділі – 1 бал;
- б) результати розробки можуть бути використані тільки однією організацією – 3 бали;
- в) результати розробки можуть бути використані декількома організаціями – 5 балів.
- г) результатами розробки можуть користуватися в масштабах однієї галузі – 8 балів;
- д) результатами розробки можуть користуватися у різних галузях – 10 балів.

Коефіцієнт К3 може приймати такі значення:

- а) робота являє собою аналіз, узагальнення або класифікацію відомої інформації, подібні результати раніше були відомі в досліджуваній галузі – 2 бали;
- б) під час виконання роботи отримана нова інформація, яка доповнює уявлення про сутність досліджуваних процесів – 3 бали;

в) внаслідок виконання роботи отримана нова інформація, яка частково змінює уявлення про природу досліджуваних процесів – 5 балів;

г) внаслідок виконання НДР створені нові теорії, методики тощо – 6 балів;

д) отримана інформація формує принципово нові уявлення, які не були відомі раніше – 8 балів.

Коефіцієнт  $K_4$  може приймати такі значення:

а) роботу виконує один підрозділ, витрати до 10 000 гривень – 1 бал;

б) роботу виконує один підрозділ, витрати від 10 000 до 50 000 гривень – 3 бали;

в) роботу виконує один підрозділ, витрати від 50 000 до 100 000 гривень – 5 балів;

г) робота виконується декількома підрозділами, витрати від 100 000 до 200 000 гривень – 7 балів;

д) робота виконується декількома організаціями, витрати понад 200 000 гривень – 9 балів.

Загальна оцінка (Б) визначається як добуток коефіцієнтів:

$$B = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4, \quad (4.3)$$

де  $K_1$  – важливість розробки;

$K_2$  – можливість використання результатів розробки;

$K_3$  – теоретичне значення та рівень новизни;

$K_4$  – складність розробки.

$$B = 5 \cdot 8 \cdot 3 \cdot 1 = 120.$$

Умовний річний економічний ефект НДР визначається:

$$E_{\text{НДР}} = 500 \cdot B - E_n \cdot V_{\text{НДР}} \quad (4.4)$$

де 500 – умовна вартість одного балу;

$E_n$  – нормативний коефіцієнт економічної ефективності ( $E_n = 0,1 \dots 0,3$ , для нашого розрахунку обираємо  $E_n = 0,3$ );

$V_{\text{НДР}}$  – витрати на виконання НДР (планова річна кошторисна вартість виконання НДР, для нашого розрахунку  $V_{\text{НДР}} = 8143,15$  грн.).

Таким чином, умовний економічний ефект відповідно (4.4) становить:

$$\epsilon_{\text{НДР}} = 500 \cdot 120 - 0,3 \cdot 8143,15 = 57557,06 \text{ грн.}$$

Економічна ефективність НДР визначається коефіцієнтом ефективності  $E$ , який характеризує частку загального ефекту від розробки на умовну одиницю витрат і розраховується за формулою:

$$E_{\text{НДР}} = \epsilon_{\text{НДР}} / V_{\text{НДР}} \quad (4.5)$$

Підставивши значення у формулу (4.5) знайдемо коефіцієнт економічної ефективності:

$$E_{\text{НДР}} = 57557,06 / 8143,15 = 7,07.$$

Коефіцієнт умовної економічної ефективності науково-дослідної роботи становить 7,07 (перевищує одиницю), що свідчить про доцільність її виконання.

#### **4.4 Висновки до розділу**

Проведено економічний аналіз доцільності даної науково-дослідницької роботи та виявлено, що дане дослідження є раціональним з економічної точки зору.

## 5 ОХОРОНА ПРАЦІ НА РОБОЧОМУ МІСЦІ

З 1992 року в Україні діє закон про охорону праці, що визначає основні положення щодо реалізації конституційного права працівників на охорону їх життя і здоров'я у процесі трудової діяльності, на належні, безпечні і здорові умови праці.

Регулювання відбувається за участі відповідних органів державної влади відносини між роботодавцем і працівником з питань безпеки, гігієни праці та виробничого середовища і встановлює єдиний порядок організації охорони праці в Україні.

Мета розділу – розробка заходів, спрямованих на забезпечення нешкідливих та здорових умов праці в цеху, розроблення заходів на дільницях ливарної лабораторії (на усунення та зниження травматизму працівників).

### 5.1 Аналіз параметрів приміщення

Дипломна робота на тему «Вплив хімічного складу та оброблення поверхні на експлуатацію виливків з алюмінієвих сплавів» виконувалась у навчальній аудиторії 410 корпусу №9 НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», план якої наведено на рис. 5.1.

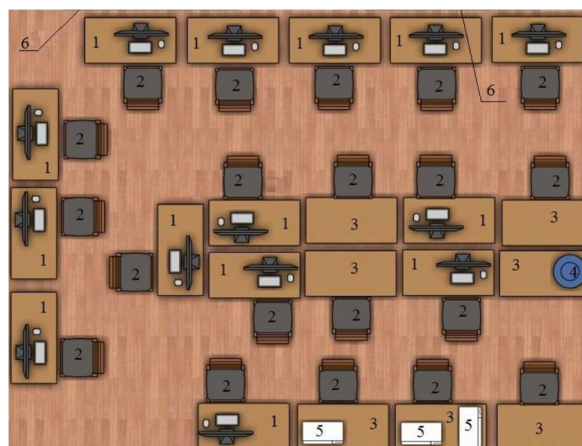


Рисунок 5.1 – План аудиторії 410: 1 – стіл з комп'ютерним обладнанням; 2 - стілець; 3 - стіл; 4 - модем; 5 - принтер; 6 – вікно.

Аудиторія знаходиться на четвертому поверсі. Її довжина складає 7,1 м, а ширина 5,36 м. Об'єм приміщення сягає 114,168 м<sup>3</sup>, площа 38,056 м<sup>2</sup>, висота 3 м. Аудиторія розрахована на 14 робочих місць. На одного працівника площа складає  $S = 2,72 \text{ м}^2$ , а об'єм  $V = 8,155 \text{ м}^3$ .

Роботи, що виконуються працівниками, відноситься до фізичних робіт категорії “легка 1а” за [49], так як вона виконується сидячи та не потребує фізичного навантаження.

Для виконання роботи було використано: комп'ютерне обладнання, що складається з системного блоку, монітору, клавіатури, миші, принтеру.

Згідно ДСанПіН 5.5.2.008-01, оптимальними параметрами для аудиторії є висота не менше 3,6 м, площа з розрахунку на одне робоче місце, обладнане комп'ютером, не менше 6 м<sup>2</sup>, та об'єм — не менше 20 м<sup>3</sup>. За відсутності у навчальному закладі відповідного приміщення допускається мати площу на одне робоче місце не менше 4,5 м<sup>2</sup> [50]. Порівнюючи відповідні значення, можна зробити висновок, що аудиторія не відповідає нормі. Згідно з [50], в холодний період року температура повітря повинна становити 22...24 °С, відносна вологість 40...60%, а швидкість руху повітря до 0,1 м/с. У теплий період року: температура 23...25 °С, відносна вологість 40...60%, швидкість руху повітря до 0,1 м/с. Фактичні значення основних параметрів мікроклімату у лабораторії обчислювальної техніки інженерно-фізичного факультету, на кафедрі «Ливарного виробництва чорних та кольорових металів», наведені у таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Фактичні значення параметрів мікроклімату аудиторії 410

Період року	Категорія робіт	Температура повітря, °С	Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря, м/с	Опалення
Холодний	Легка 1а	21	63	0,035	Водяне
Теплий		24	57	0,06	

Порівнюючи необхідні оптимальні значення з фактичними можна зробити висновок, що мікроклімат робочої зони відповідає нормативним вимогам [49].

## 5.2 Аналіз освітленості приміщення

Залежно від джерел світла освітлення може бути природним, що створюється прямими сонячними променями та розсіяним світлом небосхилу; штучним, що створюється електричними джерелами світла, та суміщеним, при якому недостатнє за нормами природне освітлення доповнюється штучним.

Основним нормативним документом, відповідно до якого здійснюється нормування освітлення в нашій країні є ДБН В.2.5-28-2006.

Правильно організоване освітлення позитивно впливає на діяльність центральної нервової системи, знижує енерговитрати організму на виконання певної роботи, що сприяє підвищенню працездатності людини, продуктивності праці і якості продукції, зниженню виробничого травматизму тощо.

Недостатнє освітлення призводить до зниження зорового сприйняття, розвивається міопія (короткозорість), хвороба очей, з'являються головні болі, зниження уваги людини, що може призвести до травматичних випадків.

В приміщенні виконується робота за монітором комп'ютера. Роботу можна віднести до розряду високої точності «1а». Відносна тривалість зорової роботи в напрямку зору на робочу поверхню не менше 70%. В приміщенні використовується бокова система природного освітлення та загальна система штучного освітлення. В приміщенні 2 вікна, загальною площею 12 м<sup>2</sup>.

Освітлення в лабораторії природне та штучне. Освітлення має бути достатнім для виконання робіт та відповідати ДБН В 2.5.28-2006. Норми освітленості для побутових приміщень, цехових лабораторій – 75...200 лк.

Для освітлення аудиторії в світлий період доби застосовується природне бічне освітлення, яке надходить крізь віконні прорізи.

У темний період доби застосовується штучне освітлення, для якого використовуються ртутні лампи денного світла.

### 5.3 Аналіз шуму в приміщенні

Шум — це будь-який небажаний звук, який наносить шкоду здоров'ю людини, знижує його працездатність, а також може сприяти отриманню травми внаслідок зниження сприйняття попереджувальних сигналів.

Джерелом шуму в приміщенні виступають ЕОМ, а саме їхні компоненти: вентилятор охолодження, CD-дисківід.

У аудиторії рівень шуму охолоджувачів на всіх машинах становить 35 дБА та дискководів – 46 дБА. Загальний рівень шуму складає 49,8 дБА. Допустимий еквівалентний рівень звуку згідно [44] наступні: для програміста ЕОМ нормований звуковий тиск повинен бути не вище 50 дБА.

Тобто наявний рівень шуму відповідає вимогам.

### 5.4 Аналіз електромагнітного випромінювання радіочастотного діапазону

Джерелом електростатичного поля й електромагнітних випромінювань у широкому діапазоні частот (інфранизькочастотному, радіочастотному, інфрачервоному, видимому, ультрафіолетовому, рентгенівському) є персональні електронно-обчислювальні машини (ПЕОМ і відеодисплейні термінали (ВДТ) на електронно-променевих трубках, які використовуються як у промисловості та наукових дослідженнях, так і в побуті.

Небезпеку для користувачів являє електромагнітне випромінювання монітора в діапазоні частот 20 Гц-300 МГц і статичний електричний заряд на екрані.

На робочому місці джерелом електромагнітного випромінювання є персональний комп'ютер. Але поля, створювані сучасним персональними комп'ютерами, значно нижчі за фонові поля приміщень.

Основний негативний вплив на очі спричинює напружена робота з монітором. Тому використовується сучасний рідкокристалічний монітор SAMSUNG SyncMaster 923NW.

Технічні характеристики монітору:

- розмір екрану – 15";
- контрастність зображення – 1000 : 1;
- яскравість – 300 кд/м<sup>2</sup>;
- розподільча здатність дисплею – 1440 × 900 пікселів.

### **5.5 Аналіз геометрії робочого місця**

Згідно ДСанПіН 3.3.-007-98, робоче місце і взаємне розташування всіх його елементів повинне відповідати антропометричним, фізичним і психологічним вимогам. Велике значення має також характер роботи.

Важливими аспектами проектування робочих місць, зокрема, є: висота робочої поверхні, розміри простору для ніг, вимоги до того, що розташовує документів на робочому місці, характеристики робочого крісла, вимоги до поверхні робочого столу, можливість регулювання елементів робочого місця.

Головними елементами робочого місця є стіл і крісло. Основним робочим положенням є положення сидячи. Неправильна постава - це призводить до подальшого розвитку викривлення хребта сколіозу, лордозу, кіфозу, а як результат головні болі, болі в області шиї і всього хребта, болі в області таза. Неправильно положення ніг може призвести до артриту (запалення суглобів), артрозу (деформації). Тунельний синдром - найвідоміше захворювання людей працюють за комп'ютером. Воно ж синдром зап'ястного каналу. Тунельний синдром проявляється після кількох годин напруженої роботи за комп'ютером. Для попередження негативного впливу треба сидіти глибоко на твердому стільці з високою спинкою, робити перерву в сидячій роботі, встати і походити 15...20 хвилин кожні 1...2 години, закрити ненадовго очі для відпочинку.

### **5.6 Електробезпека**

Згідно [49] за ступенем небезпеки враження електрострумом приміщення відноситься до приміщення без підвищеної небезпеки. У приміщення

проведено 3-х фазне електроживлення напругою 220 В, частотою 50 Гц та з максимальним струмом у 32 А.

Електроустановки підключені до групового щитка, що знаходиться в приміщенні. Використовуються кабелі та проводи з мідними жилами перерізом не менше 2,5 мм<sup>2</sup>.

Електричну енергію споживає штучне освітлення та чотирнадцять комп'ютерів.

Технічні захисні заходи електробезпеки: виконана робоча ізоляція струмопровідних частин (поліетилен, пластмаса). Електромагнітне блокування безпеки перемикачів виконана за допомогою стрижневого магніту. Причини ураженням електричним струмом може бути дотик до неізольованих струмовідних частин електроустановок, які знаходяться під напругою, або до ізольованих при фактично пошкодженій ізоляції, дотик до неструмовідних частин електроустановок або до електрично зв'язаних з ними металоконструкцій, які опинилися під напругою в результаті пошкодження ізоляції, дія напруги кроку, ураження через електричну дугу.

Чинники, що впливають на тяжкість ураження людини електричним струмом, діляться на три групи: електричного характеру, неелектричного характеру і чинники виробничого середовища. Основні чинники електричного характеру – це величина струму, що проходить крізь людину, напруга, під яку вона потрапляє, та опір її тіла, рід і частота струму.

Величина струму, що проходить через людину, безпосередньо і найбільше впливає на тяжкість ураження електричним струмом.

Величина напруги, під яку потрапляє людина, впливає на тяжкість ураження електричним струмом в тій мірі, що зі збільшенням прикладеної до тіла напруги збільшується струм і зменшується опір тіла людини. Останнє призводить до збільшення струму в мережі замикання через тіло людини і, як наслідок, до збільшення тяжкості ураження.

Шкіра є основним фактором, що визначає опір тіла людини в цілому. Опір шкіри різко знижується при ушкодженні її рогового шару, наявності вологи на її поверхні, збільшенні потовиділення, забрудненні.

Основними чинниками неелектричного характеру є шлях струму через людину, індивідуальні особливості і стан організму людини, час, раптовість і непередбачуваність дії струму.

## 5.7 Пожежна безпека

Пожежа - неконтрольоване горіння поза спеціальним вогнищем, що розповсюджується у часі і просторі.

Відповідно до ОНТП 24-86, приміщення за вибухопожежною та пожежною небезпекою поділяють на п'ять категорій :

### 1) категорія А (вибухонебезпечна)

Горючі гази, легкозаймисті речовини з температурою спалаху не більше 28°C в такій кількості, що можуть утворюватися вибухонебезпечні парогазоповітряні суміші, при спалахуванні котрих розрахунковий надлишковий тиск вибуху в приміщенні перевищує 5 кПа;

### 2) категорія Б (вибухопожежонебезпечна)

Вибухонебезпечний пил і волокна, легкозаймисті рідини з температурою спалаху більше 28°C та горючі рідини за температурних умов і в такій кількості, що можуть утворюватися вибухонебезпечні пилоповітряні або пароповітряні суміші;

### 3) категорія В (пожежонебезпечна)

Горючі рідини, тверді горючі та важкогорючі речовини, матеріали, здатні при взаємодії з водою, киснем повітря або одне з одним горіти лише за умов, що приміщення, в яких вони знаходяться або використовуються, не належать до категорій А та Б;

### 4) категорія Г

Негорючі речовини та матеріали в гарячому, розжареному або розплавленому стані, процес обробки яких супроводжується виділенням променистого тепла, іскор, полум'я;

5) категорія Д

Негорючі речовини та матеріали в холодному стані.

Аудиторія 410 відноситься до категорії Д, оскільки в ній є лише негорючі речовини та матеріали в холодному стані.

При виникненні пожежі маються евакуаційні виходи та план дій, які зображено на рис. 5.2.

Для своєчасного здійснення заходів з евакуації людей, включення стаціонарних установок пожежогасіння, виклика пожежних, тощо, вибухопожежонебезпечні об'єкти обладнуються системами пожежної сигналізації.

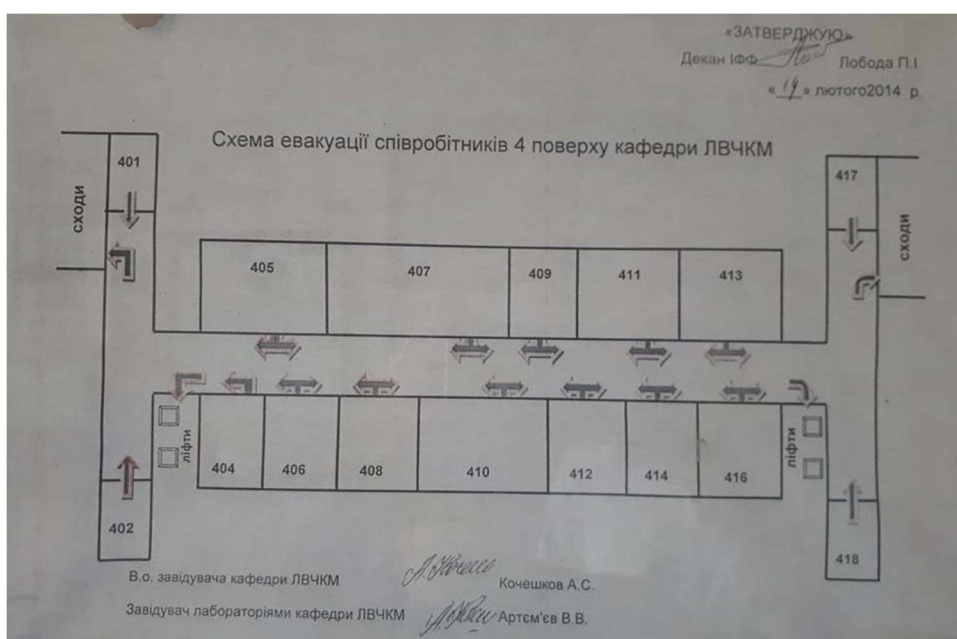


Рисунок 5.2 – Схема евакуації співробітників 4 поверху кафедри ЛВЧКМ

Види систем сигналізації:

1) Системи адресної сигналізації - при спрацьовуванні датчика вказується точна адреса, і система пожежогасіння включається тільки в тому приміщенні,

де почалася пожежа. Адресна пожежна сигналізація більш надійна і довговічна в експлуатації;

2) Системи неадресної сигналізації - у неадресної сигналізації неможливо встановити точне місцезнаходження вогнища загоряння, так як тривожне повідомлення вказує тільки електричний ланцюг (шлейф), в якій знаходиться спрацював датчик-сповіщувач.

До складу будь-якої системи пожежної сигналізації входять пожежні сповіщувачі, лінії зв'язку приймальний прилад та автономне джерело електроживлення.

Принцип дії роботи системи сигналізації починається з пожежного сповіщувача, який є або ручним, або автоматичним. Він подає сигнал тривоги при виникненні одного або кількох ознак пожежі. Пожежні сповіщувачі з'єднані лініями зв'язку один з одним та передають сигнал по ланцюгу до приймально-контрольних приладів, які призначені для прийому інформації, перетворення та оцінки цих сигналів, видачі повідомлень для безпосереднього сприймання людиною, подальшої передачі повідомлень на пульт централізованого спостереження. Вся ця система безперервно автономно підживлюється з системи з малою напругою.

## **5.9 Висновки до розділу**

У даному розділі проведено детальний аналіз умов праці у робочому приміщенні, в якому розміщено 14 робочих місць. Внаслідок проведеного аналізу санітарно-гігієнічних умов праці, умов електробезпеки і пожежної безпеки приміщення, де виконуються роботи з використанням ЕОМ, зроблено висновок про відповідність переважної більшості чинників нормативним вимогам.

## **6 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ**

### **6.1 Короткий опис проекту**

Розроблено технологію захисту виливків із алюмінієвих сплавів, виготовлених способом лиття під високим тиском, які є деталями автомобілів, шляхом оброблення їх спеціальним вібропоглинальним покриттям.

Розроблена технологія вирішує проблему шкідливого впливу вібрації на деталі під час експлуатації автомобіля, які виникають під час роботи двигуна, та можуть не лише завдавати шкоду металевим частинам, а й створювати дискомфорт людей, що користуються транспортним засобом.

Основну номенклатуру виробів складають деталі кріплення двигуна до рами або кузову автомобіля – кронштейни. В цих частинах знаходяться найбільші чинники утворення та розповсюдження вібрації.

### **6.2 Бізнес-модель**

#### **6.2.1 Цінний продукт**

Цінним продуктом є литі деталі, які використовуються у конструкції автомобіля для кріплення і утримання двигуна та поглинання вібрації для перешкоджання її шкідливого впливу на транспортний засіб. Збільшення вібропоглинальних властивостей здійснюється шляхом нанесення спеціального покриття на деталі.

#### **6.2.2 Сегмент споживачів**

Споживачі ринку дрібного сегментування категорії B2B. Автомобільні підприємства замовляють ці деталі для подальшого виготовлення транспортного засобу.

### **6.2.3 Канали збуту**

Використовуються прямі канали збуту. Безпосередній контакт з потенційними покупцями (автовиробникам та сервісним центрам обслуговування автомобілів) через візити на підприємства та презентації товару. Контакт через тематичні та галузеві виставки та конференції. Збут через інтернет-ресурси (інтернет-магазин).

### **6.2.4 Взаємодія з споживачами**

Підтримка інформаційних інтернет-ресурсів: сайт проекту, блог новин проекту, інтернет-магазин. Підтримка клієнтів через E-mail/сайт. Застосування «програми лояльності» до клієнтів.

### **6.2.5 Дохід (монетизація)**

Отримання доходу з продажу готових виробів основної номенклатури та індивідуальних замовлень.

### **6.2.6 Ключові види діяльності**

Виробництво виробів. Наукова діяльність (дослідження щодо удосконалення складу покриття). Маркетингова та логістична діяльність.

### **6.2.7 Ключові ресурси**

Технологія виробництва, рецептура покриття. Охоронні документи (патенти). Науково-технічні працівники.

### **6.2.8 Ключові партнери**

Підприємство, яке надає виробничу базу. Постачальники сировини та енергоресурсів для виробництва.

### **6.2.9 Витрати**

Витрати на ресурсозабезпечення, логістику, маркетинг, підтримку інтернет-ресурсів, оплата усіх необхідних податків.

## **6.3 Споживчі властивості товару**

Вироби із нанесеним вібропоглинальним покриттям можуть експлуатуватися більший період часу завдяки тому, що шкідливий вплив вібрації нейтралізується через створене середовище, яке перешкоджає подальшому розповсюдженню коливань. Оскільки вібрації виникають як у відділі двигуна, так і у салоні або багажнику автомобіля, деталі із вібропоглинальним покриттям дають продовжують термін роботи автомобіля, оскільки відповідальні деталі конструкції не виходять з ладу, а декоративні частини не створюють зайвого шуму, що спричиняю дискомфорт при управлінні автомобілем.

## **6.4 Дослідження ринку**

За результатами аналізу існуючого ринку продукції аналогічного призначення можна зробити висновок, що:

- річний світовий обсяг виробництва виробів аналогічного призначення становить близько 1,5 млрд. \$;
- серед інших способів подолання вібрацій у транспортному засобі є використання спеціальних болтових з'єднань та монтажу двигуна, які, однак, мають менший ефект на вібропоглинальні властивості;

– технології, які використовуються на сьогодні для виробництва виробів аналогічного призначення використовуються без відповідного дослідження і без урахування всіх чинників, що впливають на розповсюдження вібрації.

## **6.5 Дослідження конкурентного оточення**

Ймовірні конкуренти:

- в Україні: відсутні;
- в країнах КНР;
- в Європі: International Casting Industries та певний ряд інших автовиробників.

## **6.6 Маркетингова стратегія просування**

Маркетингова стратегія просування проекту складатиметься з:

- просування проекту в мережі Internet;
- участі у галузевих виставках та конференціях;
- проведення презентацій для потенційних покупців;
- зустрічей безпосередньо на підприємствах, які користуються запропонованою продукцією та проведення демонстрацій та «особистих продажів» виробів;
- поступовим виходом на міжнародний ринок.

## **6.7 Елементи фінансового плану**

### **6.7.1 Опис бізнес-проекту**

Мета проекту – отримання прибутку шляхом продажу виробів, оброблених вібропоглинальним покриттям для подальшого використання у автомобільній промисловості.

Актуальність проекту – оскільки існує проблема боротьби з вібрацією та її шкідливим впливом на експлуатації автомобіля, є необхідність розроблення засобів боротьби з нею. Враховуючи необхідність притримуватись не великої маси легкового автомобіля, а також екологічні вимоги до нових розроблень, доцільно використовувати вібропоглинальне покриття на основі акрилатого співполімеру, модифікованого мінеральними наповнювачами.

### **6.7.2 Опис товару/послуги/технології**

Номенклатуру виробів складають стандартизовані деталі кріплення двигуна до рами/кузову автомобіля, які працюють в постійного вібраційного навантаження, а також вироби, виготовлені або оброблені вібропоглинальним покриттям за індивідуальним замовленням.

### **6.7.3 Маркетинг та продаж**

Цільовий сегмент – B2B. Виробники автомобілів, сервісні центри обслуговування автомобілів.

Маркетингова стратегія просування проекту на початкових етапах включає в себе:

- просування проекту в мережі Internet;
- участь у галузевих виставках та конференціях;
- проведення презентацій для потенційних покупців.

Для продажу застосовуються прямі канали збуту:

- безпосередній контакт з потенційними покупцями;
- збут через інтернет-ресурси.

### **6.7.4 Фінансовий план**

На поточному етапі існування проекту фінансовий план у необхідному обсязі не прораховувався. Однак, розраховано, що заплановані інвестиції для

впровадження у виробництво та виробництва готових виробів в межах одного підприємства-виробника становлять:

– оренда промислових потужностей:	50 000 \$
– відпрацювання технології в умовах виробництва:	10 000 \$
– ресурсозабезпечення:	25 000 \$
– затрати на логістику, маркетинг, з/п:	5 000 \$

### **6.7.5 Резюме**

Проект призначений для вирішення проблеми вібрації та її шкідливого впливу на деталі автомобіля при його використанні, шляхом створення у відповідних деталях його конструкції спеціального вібропоглинального покриття.

Заплановані інвестиції для впровадження у виробництво на одному підприємстві становлять 90 000 \$.

Схему стартап-проекту наведено на рисунку 6.1.

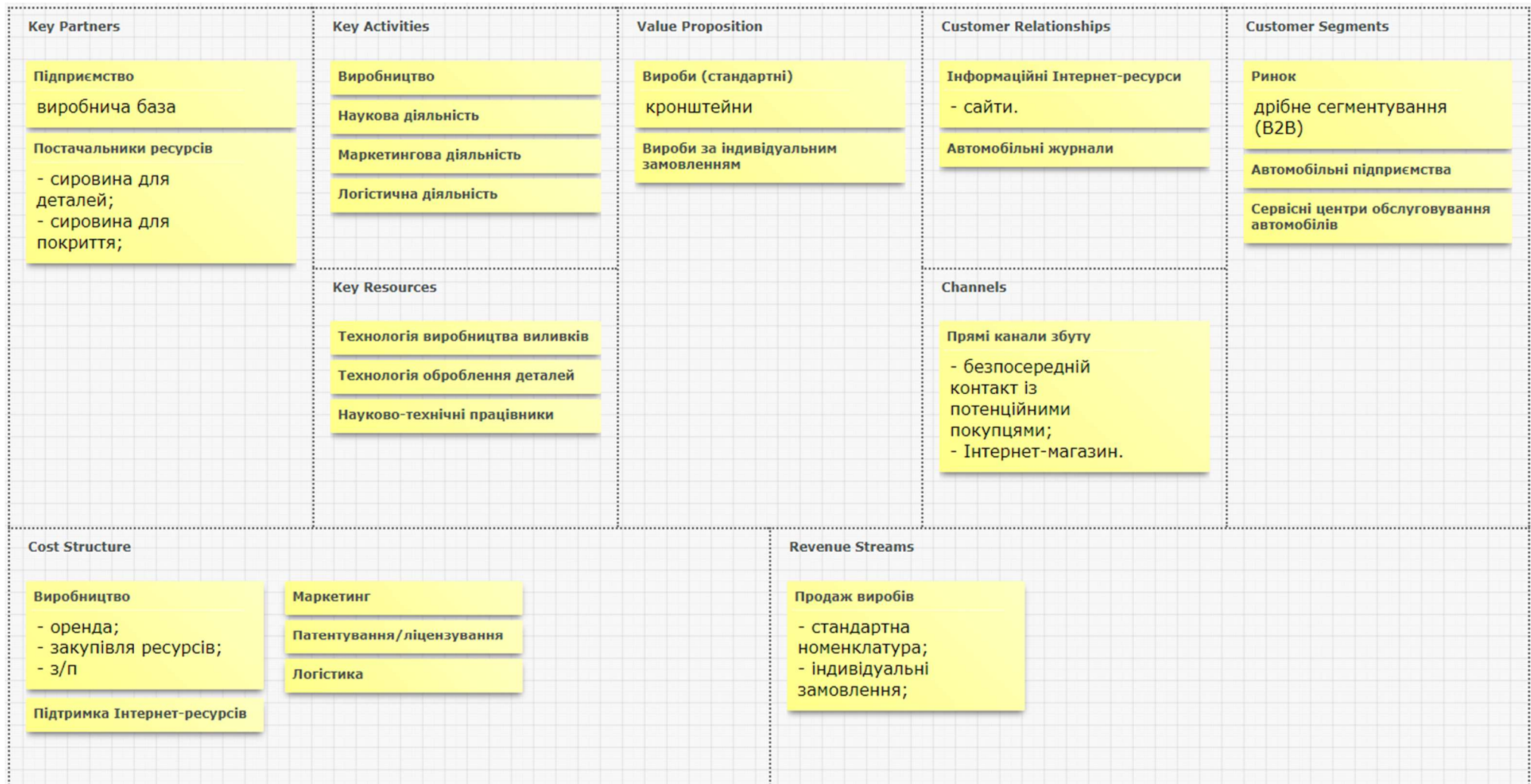


Рисунок 6.1 – Схема стартап-проекту за темою магістерської дисертації

## ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

Встановлено, що використання алюмінієвих сплавів в автомобілебудуванні є найбільш доцільним для виготовлення деталей, а способом лиття, яке задовольняє вимоги індустрії, є лиття під високим тиском.

Встановлено, що вібрація у автомобілі негативно впливає як на водія і пасажирів, так і на окремі деталі конструкції машини. Одним із способів вирішення проблеми, пов'язаної із негативним впливом вібрації у автомобілі, є нанесення на опорні деталі покриття, що дозволяє гасити вібраційні коливання на стадії їх розповсюдження.

Встановлено, на параметри вібрації впливає температура виробу за якої здійснюють його експлуатацію.

За результатами досліджень встановлено, що алюмінієві сплави EN AC 46000 та EN AC 43000 схильні до впливу вібрації під час дії на них вимушених коливань, частотою 200 Гц.

Визначено, що без вібропоглинального покриття показники амплітуди коливань зразків із алюмінієвих сплавів EN AC 46000 та EN AC 43000 становлять 1,4 та 1,9 мм відповідно. Дані значення свідчать про вихід із ладу деталей через сумісний негативний вплив дії вібрацій та поруватості у них на протязі одного року експлуатації виробів.

Встановлено, що нанесення на поверхню зразків шар вібропоглинального покриття товщиною 1 мм знижує амплітуду коливань зразків із алюмінієвих сплавів EN AC 46000 та EN AC 43000 до 0,25 і 0,29 мм відповідно, тобто у 5...7 разів, що призводить до збільшення терміну їх експлуатації.

Досліджено, що при збільшенні товщини шару вібропоглинального покриття до 3 мм за нормальних умов збільшується здатність сплаву перешкоджати подальшому розповсюдженню вібрації по виливку, і значення коливань в такому разі складатимуть 0,12 та 0,13 мм відповідно.

Встановлено, що ще одним фактором впливу на показники амплітуди коливань для сплавів є температура середовища, при якій буде проходити експлуатація деталей.

Виявлено, що найбільш сприятливі умови для роботи деталей з найбільшою здатністю до поглинання вібрації від -20 до 0 °С та від 60 до 80 °С. В таких умовах, значення амплітуди коливань становлять 0,016 та 0,02 мм відповідно для зразків із алюмінієвих сплавів EN AC 46000 та EN AC 43000.

Встановлено, що застосування вібропоглинального покриття товщиною 3 мм забезпечує термін експлуатації деталі протягом періоду, зазначеного у вимогах автовиробників.

Розроблено номограми, які дозволяють підібрати відповідні умови експлуатації та параметри покриття для деталей, робота яких обмежена максимально допустимими значеннями амплітуди коливань.

Проведено економічний аналіз доцільності даної науково-дослідницької роботи та визначено, що дане дослідження є раціональним з економічної точки зору, а коефіцієнт умовної економічної ефективності науково-дослідної роботи становить 7,07.

Проведено детальний аналіз умов праці у робочому приміщенні, в якому розміщено 14 робочих місць. Внаслідок проведеного аналізу санітарно-гігієнічних умов праці, умов електробезпеки і пожежної безпеки приміщення, де виконуються роботи з використанням ЕОМ, зроблено висновок про відповідність чинників нормативним вимогам.

Розроблено стартап-проект, який призначений для вирішення проблеми вібрації та її шкідливого впливу на деталі автомобіля при його використанні, шляхом створення у відповідних деталях його конструкції спеціального вібропоглинального покриття. Заплановані інвестиції для впровадження у виробництво на одному підприємстві становлять 90 000 \$.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Шашков Д. П. Материаловедение в автомобилестроении / Д. П. Шашков. – Москва, 2003. – 328 с. – (МАДИ (ГТУ)).
2. Recent development in aluminium alloys for the automotive industry / [W. Miller, L. Zhuang, J. Bottema та ін.]. // Materials Science and Engineering. – 2000. – С. 37–49.
3. Advanced High Strength Steel: Processing and Applications / G. Cole, A. Glove, R. Jeryan, G. Davies. // Steel World 2. – 1997. – №1. – С. 75–83.
4. Tisza M. Comparative study of the application of steels and aluminium in lightweight production of automotive parts / M. Tisza, I. Czinege. // International Journal of Lightweight Materials and Manufacture. – 2018. – №1. – С. 229-238.
5. Historical Background on Use of Aluminium at Audi [Електронний ресурс] // A.G. Audi. – 2002. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.audiworld.com/news/02/aluminum/content1.shtml/>.
6. Aluminium in Cars-unlocking e the Light Weighting Potential [Електронний ресурс] // European Aluminium Association. – 2012. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.alueurope.eu/publicationsautomotive/>.
7. Automobile bodies: Can aluminium be an economical alternative to steel / A. Kelkar, R. Roth, J. Clark – 2001 – №8 – 28-32.
8. On material substitution in automotive BIW – From steel to aluminum, / F. Henriksson, K. Johansen // Proc. CIRP – 2016 – №50 – 683-688.
9. Materials in automotive application – state of the arts and prospects, in: Prof. Chiaberge Marcello (Ed.), New Trends and Developments in Automotive Industry, InTech Publications, 2011, 08. January 2011. ISBN 978-953-307-999-8.
10. Гуреева М. А. АЛЮМИНИЕВЫЕ СПЛАВЫ В СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ СОВРЕМЕННЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ / М. А. Гуреева, О. Е. Грушко. // Машиностроение и инженерное образование. – 2009. – С. 27–41.
11. Влияние термической обработки и деформации на величину зерна и механические свойства сплавов типа дуралюмин / Фридляндер И.Н.,

Берстенов В.В., Ткаченко Е.А. та ін. // *Металловедение и термическая обработка металлов.* – 2003. №7. С. 3–6.

12. Патент Франції 2316347. МКИ С22 С 21/00 – 1977.

13. 5182 (AlMg4.5Mn0.4, A95182) Aluminum [Електронний ресурс] // MakeItFrom. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.makeitfrom.com/material-properties/5182-AlMg4.5Mn0.4-A95182-Aluminum>.

14. АЛЮМИНИЙ И СПАВЫ НА ЕГО ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЕ В АВТОМОБИЛЕСТРОЕНИЕ [Електронний ресурс]. – 2006. – Режим доступу до ресурсу: <http://itm.irk.ru/student/New%20Folder/skorluchenkov.pdf>.

15. Алюминий в автомобиле: литейные сплавы Литейные алюминиевые сплавы [Електронний ресурс] // European Aluminium Association. – 2002. – Режим доступу до ресурсу: <https://aluminium-guide.ru/litejnye-alyuminievye-splavy-v-avtomobile/>.

16. Алюминиевые сплавы в автомобиле [Електронний ресурс] // *Advanced Materials in Automotive Engineering*, ed. Jason Rowe, Woodhead Publishing. – 2012. – Режим доступу до ресурсу: <https://aluminium-guide.ru/alyuminievye-splavy-v-avtomobile/>.

17. F. Casarotto. High-pressure die-cast (HPDC) aluminium alloys for automotive applications / F. Casarotto, A. J. Franke, R. Franke // *Rheinfelden Alloys* / F. Casarotto, A. J. Franke, R. Franke., 2012. – (Woodhead Publishing Limited). – С. 109–149.

18. EN AC-46000 (46000-F, AlSi9Cu3(Fe)) Cast Aluminum [Електронний ресурс] // MakeItFrom. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.makeitfrom.com/material-properties/EN-AC-46000-46000-F-AlSi9Cu3Fe-Cast-Aluminum>.

19. M. Garat, G. Laslaz, Improved Aluminium Alloys for Common Rail Diesel Cylinder Heads, AFS Transactions 2007, Paper 07-002(02), 2007.

20. EN AC-43000-T6 Cast Aluminum [Електронний ресурс] // MakeItFrom. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.makeitfrom.com/material-properties/EN-AC-43000-T6-Cast-Aluminum>.

21. Гини Э.Ч. Технология литейного производства: Специальные виды литья: Учебник для студ. высш. учеб. заведений / Э.Ч. Гини, А.М. Зарубин, В.А. Рыбкин. – Москва, 2005. – 352 с. – (ACADEMIA).

22. Apparao K. C. Optimization of Die casting process based on Taguchi approach / K. C. Apparao, A. K. Birrub. // ScienceDirect - Materials Today: Proceedings. – 2017. – №4. – С. 1852–1859.

23. DC-J Series [Электронный ресурс] // TOSHIBA MACHINE CO. – 2017. – Режим доступа до ресурсу: <https://www.toshiba-machine.co.jp/en/product/diecast/lineup/dcj.html>

24. DC-CS Series [Электронный ресурс] // TOSHIBA MACHINE CO. – 2017. – Режим доступа до ресурсу: <https://www.toshiba-machine.co.jp/en/product/diecast/lineup/dccs.html>.

25. Hybrid Die Casting Machine [Электронный ресурс] // TOSHIBA MACHINE CO.. – 2017. – Режим доступа до ресурсу: <https://www.toshiba-machine.co.jp/en/product/diecast/lineup/hybrid.html>.

26. Pandaa K. C. Dealing with Noise and Vibration in Automotive Industry / Kailash Chandra Pandaa. // Procedia Engineering. – 2016. – №144. – С. 1167 – 1174.

27. Ahirrao N. S. Dynamics and Vibration Measurements in Engines / N. S. Ahirrao, S. P. Bhosle, Dr., D. V. Nehete, Dr. // Procedia Manufacturing. – 2018. – №20. – С. 434–439.

28. Вибрации в технике. Том 3. Колебания машин, конструкций и их элементов / [Э. Л. Айрапетов, И. А. Биргер, В. Л. Вейц та ін.]. – Москва: Машиностроение, 1980. – 554 с.

29. R.Galluzzi, A.Tonoli, N. Amati, Modeling ,control and validation of electrohydrostatic shock absorbers, Journal of Vibration and Acoustics (Feb 2015) 137 /011012-1.

30. Z.Ren, N. Atalla, S. Ghinet, Optimization based identification of the dynamic properties of linearly viscoelastic materials using vibrating beam techniques, Journal of Vibration and Acoustics (Aug 2011) 133/041012-1.

31. T. Butz, B. Simeon, M. Stadler, Optimal design of experiments for estimating parameters of a vehicles dynamics simulation model, *Journal of Computational and Nonlinear Dynamics* (July 2010) 5/031011-1.
32. F.W. Flocker, A versatile cam profile for controlling interface force in multiple – dual cam – follower systems, *Journal of Mechanism Design* (Sep 2012) 134/ 094501-1.
33. T.K.Naskar, S.Acharyya, Measuring Cam – Follower performance, *Mechanism and Machine Theory* 45 (2010) 678-691.
34. B. Demeulenaere, J. De Schutter, Synthesis of inertially compensated variable – speed cams, *Journal of Mechanical Design* (Sep 2003) 125 / 593.
35. N. Nayak, P.A. Laxminarayanan, M.K. ganjendra Babu, A.D. Dani, Predictions of cam follower wear in diesel engines, *Wear* 260 (2006) 181-192.
36. G.Gatti, D. Mundo, On the direct control of follower vibrations in cam – follower mechanics, *Mechanics and Machine Theory* , 45 (2010) 23-35.
37. M. Karpel, B. Moulin, V. Feldgun, Component mode synthesis of a vehicle system model using the factitious mass methods, *Journal of Vibration and Acoustics* (Feb 2007) 129 /73.
38. K.Nishimura, Y. Terumichi, T. Morimura, K. Sogabe, Developments of vehicle dynamics simulation for safety analyses of rail vehicles on excited tracks , *Journal of Computational and Nonlinear Dynamics* (Jan 2009) 4/011001-1.
39. E.Yuksel, G. Kamci, I. Basdogan, Vibro- Acoustic design optimization study to improve the sound pressure level inside the passenger cabin, *Journal of Vibration and Acoustics* (Dec 2012) 134 /061017-1
40. M. Benaziz, S. Nacivet, F. Thouverez, A shock absorber model for structure – borne noise analyses, *Journal of Sound and Vibration* 349 (2015) 177-194.
41. T. Xu, M. Liang, Chuan li, S. Yang, Design and analysis of a shock absorber with variable movement of inertia for passive vehicle suspensions , *Journal of Sound and Vibration* 355 (2015) 66-85.
42. W. Schiehlen, I.Iroz, Uncertainties in road vehicles suspensions, *Elsevier Procedia IUTAM* 13 (2015) 151-159.

43. Пчелінцев В. О. Механічні властивості та конструкційна міцність матеріалів [Текст]: навч. посіб. / В. О. Пчелінцев, А. І. Дегула. — Суми: СумДУ, 2012. — 247 с. — ISBN 978-966-657-449-0.

44. Hans A. van Sprang Fundamental parameter methods in XRF spectroscopy // *Advances in X-ray Analysis*, Vol.42, 2000.

45. Машины ЛПВД «IDRA» серии OL R [Електронний ресурс] // Агентство Литье ++ – Режим доступу до ресурсу: <https://onv.com.ua/tovary/oborudovanie/mashiny-lpvd-idra-serii-ol-r/>.

46. Rubio E. Experimental characterization of mechanical vibrations and acoustical noise generated by defective automotive wheel hub bearings / E. Rubio, J. C. Jáuregui. // *Procedia Engineering*. – 2012. – №35. – С. *Procedia Engineering*.

47. Optimizing of Wire EDM Parameters for Damping Capacity of Aluminum Alloy / [D. S. Prasada, P. T. Radhaa, C. Shobab та ін.]. // *Materials Today: Proceedings*. – 2018. – №5. – С. 16832–16839.

48. Рабочая температура двигателя - какая оптимальная? [Електронний ресурс] // VipWash – Режим доступу до ресурсу: <https://vipwash.ru/dvigatel/rabochaya-temperatura-dvigatelya-kakaya-optimalnaya>.

49. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.

50. ДСН 239-96 Державні санітарні норми і правила захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань.