

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

(повне найменування вищого навчального закладу)

Інженерії машин, споруд та технологій

(назва факультету)

Автомобілів

(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

на здобуття освітнього ступеня

Бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Розроблення технологічного процесу діагностування головки блоку
циліндрів 14-літрового дизельного двигуна Scania v8

Виконав: студент 4 курсу, групи МАС-41
спеціальності 274

«Автомобільний транспорт»

(шифр і назва спеціальності)

Дмитро КОЗАК
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник Іван ГЕВКО
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль Марія СПРАВСЬКА
(підпис) (прізвище та ініціали)

Зав. кафедри Олег ЦЬОНЬ
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент
(підпис) (прізвище та ініціали)

м. Тернопіль – 2024

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет Факультет інженерії машин, споруд та технологій
(повна назва факультету)

Кафедра Кафедра автомобілів
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Олег ЦЬОНЬ

(підпис)

(прізвище та ініціали)

«29» січня 2024 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

на здобуття освітнього ступеня бакалавр

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 274 «Автомобільний транспорт»

(шифр і назва спеціальності)

студенту Козаку Дмитру Вірославовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення технологічного процесу діагностування головки блоку циліндрів 14-літрового дизельного двигуна Scania v8

Керівник роботи Гевко І.Б., д.т.н., професор.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 29 » січня 2024 року № 4/7-74

2. Термін подання студентом завершеної роботи 23 червня 2024

3. Вихідні дані до роботи Базовий технологічний процес діагностування головки блоку циліндрів 14-літрового дизельного двигуна Scania v8

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

1 Загально-технічний розділ. 2 Технологічний розділ. 3 Конструкторський розділ.

4 Безпека життєдіяльності, основи охорони праці.

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

Графічне зображення тестових варіантів діагностування головки циліндра

двигуна – А1; Графічне зображення моделювання процесу діагностики головки блоку циліндрів двигуна – А1;

Діаграми розподілу коефіцієнта надійності в базовому варіанту – А1;

Варіанти коефіцієнту надійності в тестовому варіанті – А1;

Графічні результати тп діагностування головки блока циліндрів двигуна – А1;

Конструкція підсилювача тиску – А1;

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека життєдіяльності, основи охорони праці.	к.т.н. доц. Сенчишин В.С.		

7. Дата видачі завдання 29.січня 2024р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Загально-технічний розділ	14.02.2024	
2	Технологічний розділ	15.03.2024	
3	Конструкторський розділ	19.04.2024	
4	Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	07.05.2024	
5	Оформлення графічної частини	21.05.2024	
6	Захист кваліфікаційної роботи бакалавра	29.06.2024	

Студент

(підпис)

Дмитро КОЗАК

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Іван ГЕВКО

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра на тему: «Розроблення технологічного процесу діагностування головки блоку циліндрів 14-літрового дизельного двигуна Scania v8».

Робота виконана на кафедрі автомобілів Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя. Керівник кваліфікаційної роботи бакалавра д.т.н., професор Гевко І.Б.

Пояснювальна записка складається з чотирьох розділів і 52 сторінок формату А4 та 6 аркушів формату А1 графічної частини.

Ключові слова: діагностика, оптимізація процесу, аналіз дефектів, технологічний процес, обладнання.

ЗМІСТ

Вступ	6
1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ	7
1.1 Загальний огляд.....	7
1.2 Постановка завдання на виконання кваліфікаційної роботи бакалавра...	12
2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ	13
2.1 Підбір технологічного обладнання.....	13
2.2 Розроблення технологічного процесу діагностування.....	14
2.2.1 Гідроімпульсний тест.....	14
2.2.2 Результати випробувань.....	17
2.2.3 Тестові приклади – головка циліндра DW.....	17
2.3 Моделювання процесу діагностики головки блока циліндрів двигуна.....	22
2.4 Оцінка коефіцієнтів надійності з використанням програми FEMFAT.....	26
2.5 Обробка результатів.....	33
3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	40
3.1 Удосконалення основи підсилювача тиску.....	40
3.2 Кріплення головки двигуна.....	41
4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	45
4.1 Шкідливі та небезпечні фактори при виконанні робіт з діагностування ДВЗ.....	45
4.2 Організаційні та технічні заходи по забезпеченню захисту працівників від шкідливих та небезпечних факторів.....	46
4.3 Правила безпеки праці при роботі з обладнанням та машинами для проведення діагностування ДВЗ.....	46
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	50
БІБЛІОГРАФІЯ	51
ДОДАТКИ	

ВСТУП

У сучасному світі автомобільної промисловості значна увага приділяється підтримці надійності та ефективності великих транспортних засобів, зокрема комерційних вантажівок. Двигуни великої потужності, як-от 14-літровий дизельний двигун Scania V8, використовуються у великих вантажівках, які є невід'ємною частиною логістичних і транспортних операцій по всьому світу. Одним з ключових аспектів забезпечення тривалої експлуатації та максимальної ефективності цих двигунів є належна діагностика та обслуговування. Зокрема, головка блоку циліндрів є однією з найважливіших компонентів двигуна, що вимагає ретельного аналізу та перевірки на предмет потенційних несправностей.

Ця кваліфікаційна робота бакалавра присвячена розробленню технологічного процесу діагностування головки блоку циліндрів для 14-літрового дизельного двигуна Scania V8. Робота має на меті визначити та оптимізувати методи діагностики, які допоможуть підвищити точність виявлення дефектів та оцінювання стану цієї критично важливої частини двигуна. Значення даної роботи полягає у можливості значно знизити витрати на ремонт та обслуговування, забезпечуючи при цьому надійність і довговічність двигунів Scania V8 в умовах інтенсивної експлуатації.

Для досягнення цих цілей, будуть використані сучасні методи неруйнівного контролю, аналізу вібрацій, термографії та інші передові техніки діагностики. Результати цієї роботи мають велике практичне значення для сервісних центрів, які спеціалізуються на обслуговуванні та ремонті великовантажних автомобілів, а також для розширення наукових знань у галузі діагностики складних механічних систем.

1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Загальний огляд

Scania належить до елітних брендів у секторі комерційного автотранспорту світу. Забезпечення конкурентоспроможності вимагає постійного розроблення, випробувань та моделювання наявних та перспективних моделей. Потужний двигун відіграє критичну роль у виборі споживачами автомобілів Scania. Для підвищення якості двигунів необхідно удосконалити існуючі методи тестування, що забезпечить кращу відповідність характеристикам головки блоку циліндрів, а також поліпшення кореляції з результатами моделювання та практичним досвідом.

Головка блоку циліндрів виконує численні важливі завдання. Вона повинна витримувати тиск під час згоряння, забезпечувати вивід вихлопних газів, приймати свіже повітря у камеру згоряння та ін'єктувати паливо. Окрім цього, стандартна головка блоку дизельного двигуна обладнана каналами для повітря та вихлопу, системами охолодження і змащення, механізмами впорскування палива, клапанами, підйомниками, кріпленнями для верхніх розподільчих валів або толкателів, рокерами та, можливо, пристроями для спрощення запуску в холодну погоду, такими як електричні обігрівачі. На рисунку 1.1 ви можете побачити розріз дизельного двигуна та головки блоку циліндрів із вказанням більшості цих компонентів.

Конфігурація головки блоку циліндрів критично впливає на економічність та продуктивність мотора. Дизайн вхідних каналів впливає на об'ємну продуктивність та викликає потік повітря. Цей потік має значення для розподілу паливного аерозолі, що виходить з інжектора у камеру згоряння, хоча він також знижує об'ємну продуктивність. Забезпечення адекватного потоку в вихідних каналах критично, оскільки будь-яке обмеження спричиняє утримання тепла від згоряння у циліндрі, переноситься в блок двигуна, а не виводиться через вихлоп. Якщо забезпечений хороший вихід газів з циліндра, вихлопні гази матимуть більш високу температуру, і таким чином турбокомпресор може ефективніше використовувати енергію цих газів, та

зменшується потреба в охолодженні. Високі температури згоряння вимагають каналів охолодження, щоб запобігти плавленню або деформації головки.

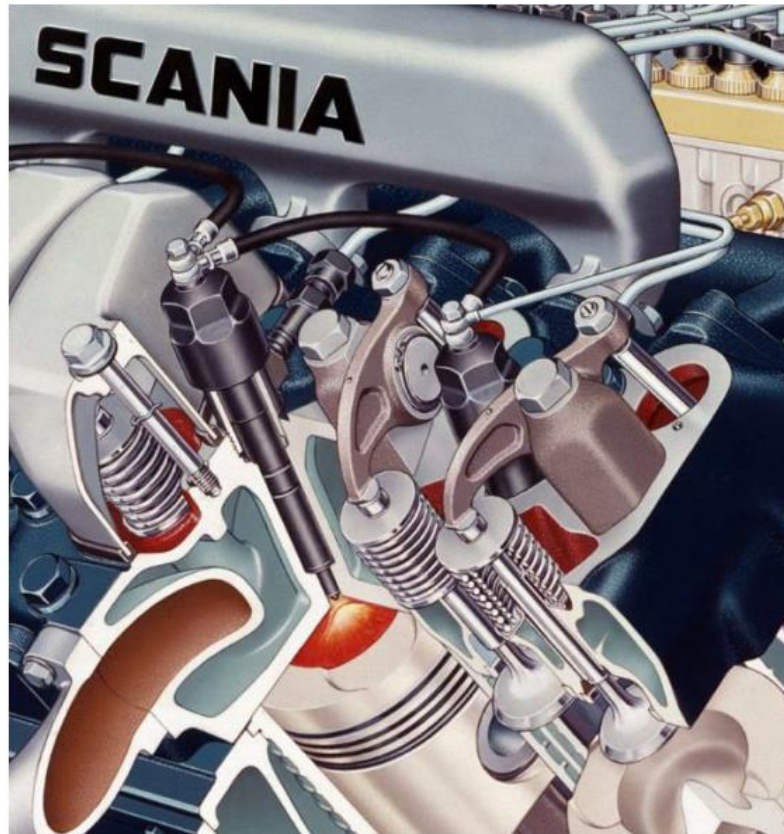


Рис. 1.1. Розріз дизельного мотора Scania об'ємом 14 літрів V8 із головкою блоку циліндрів та безпосереднім впорскуванням палива.

Ці канали мають забезпечувати належне охолодження і очищати вхідні, вихідні та масляні канали для змащення клапанної системи. Зазвичай у головці блоку циліндрів є два або чотири клапани на циліндр, при цьому інжектор палива розташований у центрі або близько до центру циліндра. Клапани запечатують головку блоку на деяких етапах робочого циклу і відкриваються на інших. Відкривання та закривання клапанів керується конструкцією розподільчого валу, який може бути розташований як на головці, так і у блоку двигуна, відкриваючи клапани шляхом натискання на підйомники клапанів або на штовхачі, що взаємодіють із рокерами, які в свою чергу тиснуть на підйомники клапанів. Також можливе наявність електричних нагрівачів для полегшення запуску в холод.

Складність форми та циклічне навантаження від робочого циклу двигуна робить головку блоку схильною до утворення тріщин. Тому необхідні

моделювання та тестування для виявлення тріщин, що може потребувати зміни конструкції головки, якщо це потрібно. Не всі тріщини негативно впливають на роботу двигуна, оскільки деякі з них можуть перестати розширюватися. Проте важливими є тріщини, які простягаються через зовнішні стінки або між критичними елементами, як-от масляні та охолоджувальні канали, оскільки такі витoki знижують продуктивність, погіршують емісії та створюють небезпечні умови навколо двигуна, а також несуть ризик аварії двигуна через змішування охолоджувальної рідини з мастилом.

У Scania застосовують двоточковий метод для оцінки границі втоми головок циліндрів. Головки циліндрів перевіряють на гідропульсовому стенді, де пульсуючий тиск олії в камері згоряння імітує цикл тиску згоряння. Оцінка границі втоми при заданій кількості циклів N проходить дві стадії: початкову та двоточкову. На початковій стадії границя втоми визначається від низького рівня навантаження і поступово збільшується на стандартне відхилення s для кожного наступного зразка, до моменту виникнення збою зразка. Рівень стандартного відхилення визначається на основі досвіду попередніх тестів на втому і на даному етапі не відомий. Після збою зразка навантаження знижується до попереднього рівня, доки не досягнуто нової витривалості. Потім рівень навантаження підвищується до рівня, де спостерігаються як витривалості, так і збої. Цей рівень тепер є нижнім рівнем A_1 у двоточковому тестуванні. Вищий рівень навантаження A_2 встановлюється на основі ймовірності збою та стандартного відхилення рівня A_1 . Ілюстрація початкової фази та двоточної фази представлена на рисунку 1.2.

На завершення експериментів обчислюють ймовірності втомного руйнування за встановлену кількість циклів для обох рівнів навантажень.

$$P_i = \frac{n_i - r_i}{n_i}$$

де P_i позначає ймовірність несправності, n_i - кількість зразків, r_i - кількість випробувань, що пройшли без збоїв, а індекс i відображає рівень навантаження, 1 або 2. Оптимально, коли менший рівень навантаження має ймовірність несправності, яка не перевищує 0.5, а для вищого рівня навантаження ця ймовірність повинна бути не менша за 0.5.

$$A_{50} = A_1 - s \cdot Y_1$$

Коефіцієнт варіації V_R можна записати як

$$V_R = \frac{s}{A_{50}}$$

І може бути ідентифікована як відносне стандартне відхилення, при цьому нижчі показники свідчать про однакові характеристики зразка для тестування. Після завершення випробувань кожна головка циліндра розділяється на три сегменти для детального дослідження наявності тріщин за допомогою магнітопорошкової перевірки. Це унеможливує повторне використання тестових зразків, що зазвичай застосовуються у початковій стадії. Кількість зразків для тестування є критичною, оскільки збільшення їх кількості сприяє точнішому визначенню межі втоми. Це зумовлено тим, що інтервал впевненості більш імовірно охоплює цю межу при проведенні обширніших тестових серій, і водночас довжина цього інтервалу зменшується.

Згідно з критеріями приймання Scania, тріщини через стінки головки циліндра, інші дефекти чи витоки після трьох мільйонів циклів не допускаються. Головки, які не задовольняють ці вимоги, класифікуються як невдачі за двоточковим методом. Середній рівень навантаження A_{50} , тут позначений як P_{50} , повинен відповідати наступним вимогам.

$$P_{50} \geq SF \cdot P_{max} - \frac{4}{11} P_{min}$$

де показник $\frac{4}{11}$ виступає як коригувальний коефіцієнт, що враховує середній рівень тиску, адже мінімальний тиск P_{min} має значення, S_F є показником надійності, а P_{max} визначає максимальний тиск у циліндрі під час роботи двигуна. Якщо відбувається зміна матеріалу або мінімального тиску, потрібно адаптувати корекцію середнього тиску.

Величина коефіцієнта надійності була переглянута, оскільки не всі головки циліндрів наразі відповідають прийнятим критеріям. Запропоновано коефіцієнт надійності 1.5 для забезпечення відповідності вимогам прийняття та для підвищення точності узгодження між симуляціями, випробуваннями та

реальним досвідом. Польові тести також підтвердили відсутність проблем із головками циліндрів та втомлювальним навантаженням високих циклів.

1.2 Постановка завдання на виконання кваліфікаційної роботи бакалавра

Потрібно розробити новий метод випробувань для головки циліндра рядного шестициліндрового двигуна Scania об'ємом 7 літрів, що демонструється на рисунку 1.3. Процес тестування головки циліндра для такого двигуна комплікований через невизначеність у виборі циліндрів для перевірки та їхньому послідовності. Завданням даної роботи є встановлення підходу до тестування, який враховуватиме час на проведення тестів, достовірність результатів у порівнянні зі справжнім життєвим циклом двигуна, вартість і можливість повторення. На основі цих даних буде здійснено розробку відповідного обладнання для тестування.



Рис. 1.3. Шестициліндровий рядний двигун Scania з об'ємом 7 літрів.

2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Підбір технологічного обладнання

В Scania актуальні головки циліндрів перевіряються на стенді гідропульсу. Існують два різні варіанти устаткування для налаштування цього стенду. Перший і найбільш елементарний варіант представлений на рисунку 2.1 та рисунку 2.4. Головна перевага цього приладдя полягає у простоті його конструкції; інші плюси включають короткі нафтопроводи, які зменшують загальний обсяг олії, а також можливість відводу олії з отворів для болтів головки циліндра при обертанні блоку двигуна, коли це потрібно. Мінусом є необхідність додаткових зусиль для демонтажу підсилювача тиску для того, щоб можна було повернути блок двигуна для заміни головки циліндра.

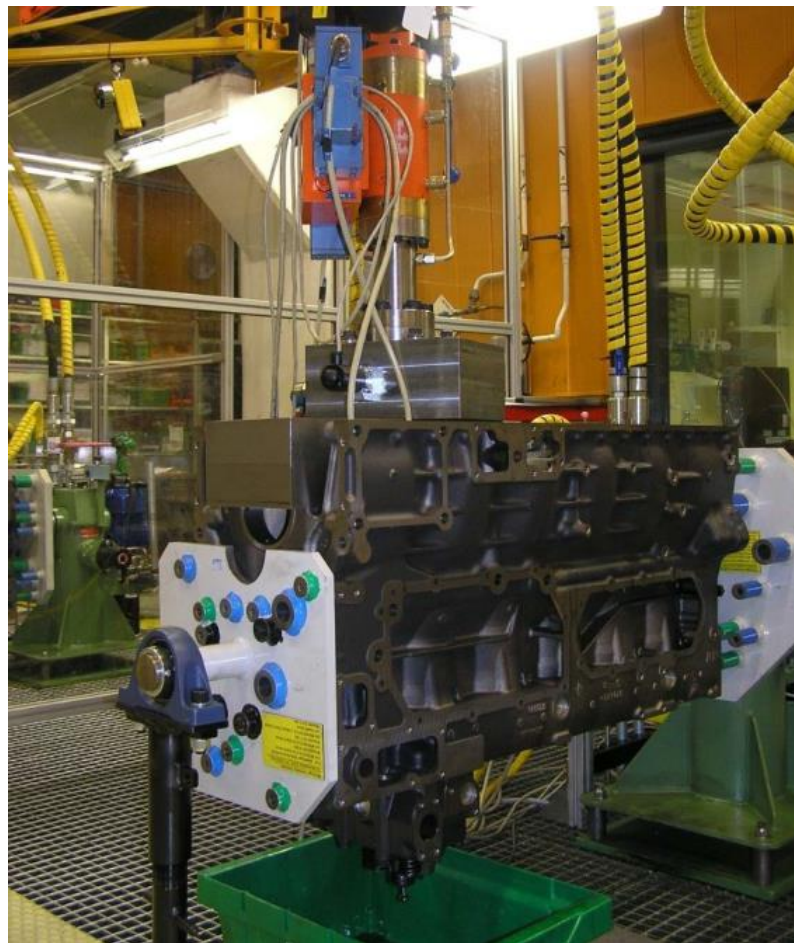


Рис. 2.1. Зображення сучасного гідропульсного стенду з першим видом приладдя, приготованого для перевірки головок циліндрів. Прошу звернути увагу на розташування головки циліндра в нижній частині фото та осі обертання блоку двигуна.

Другий тип устаткування має ключову перевагу: як головка циліндра, так і підсилювач тиску розташовані зверху блоку двигуна, що показано на рисунку 2.2. Це значно скорочує час, необхідний для заміни головки циліндра. Однак недоліками є більш складна конструкція з довгими, вузькими масляними каналами, яка є вартісною у виготовленні, збільшений обсяг олії через подовжені масляні канали та більш тривалий процес зливання з отворів для болтів головки циліндра.

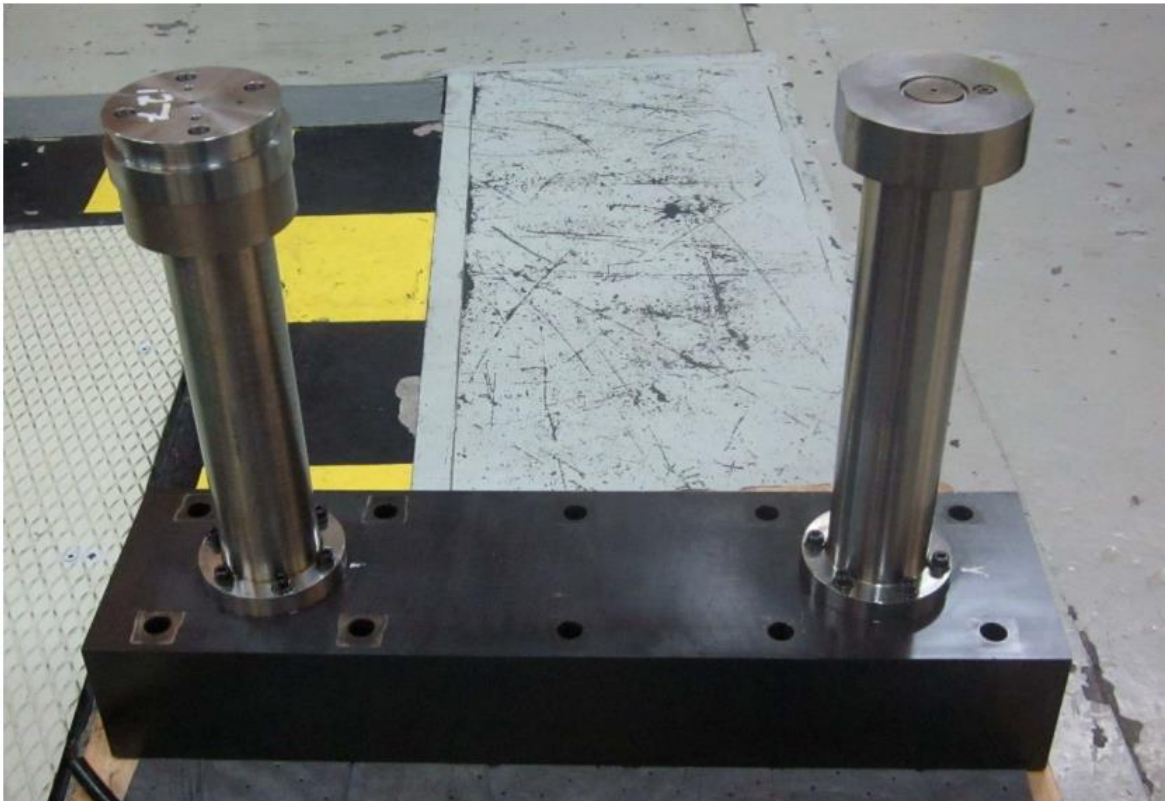


Рис. 2.2. Другий тип пристосування для перевірки головки циліндра, блоки підсилювача тиску та двигуна не відображені.

2.2 Розроблення технологічного процесу діагностування

2.2.1 Гідроімпульсний тест

У гідропульсовому тесті використовується пульсуючий тиск олії зі сталою амплітудою у камері згоряння головки циліндра, що обслуговує один циліндр. Під час роботи тиск олії зазвичай коливається з частотою приблизно 13 Гц. З огляду на практичні потреби стабільної роботи мінімальний тиск

системи становить 5 бар. Дивіться рисунок 2.3 для схематичного представлення пульсацій зі сталою амплітудою.

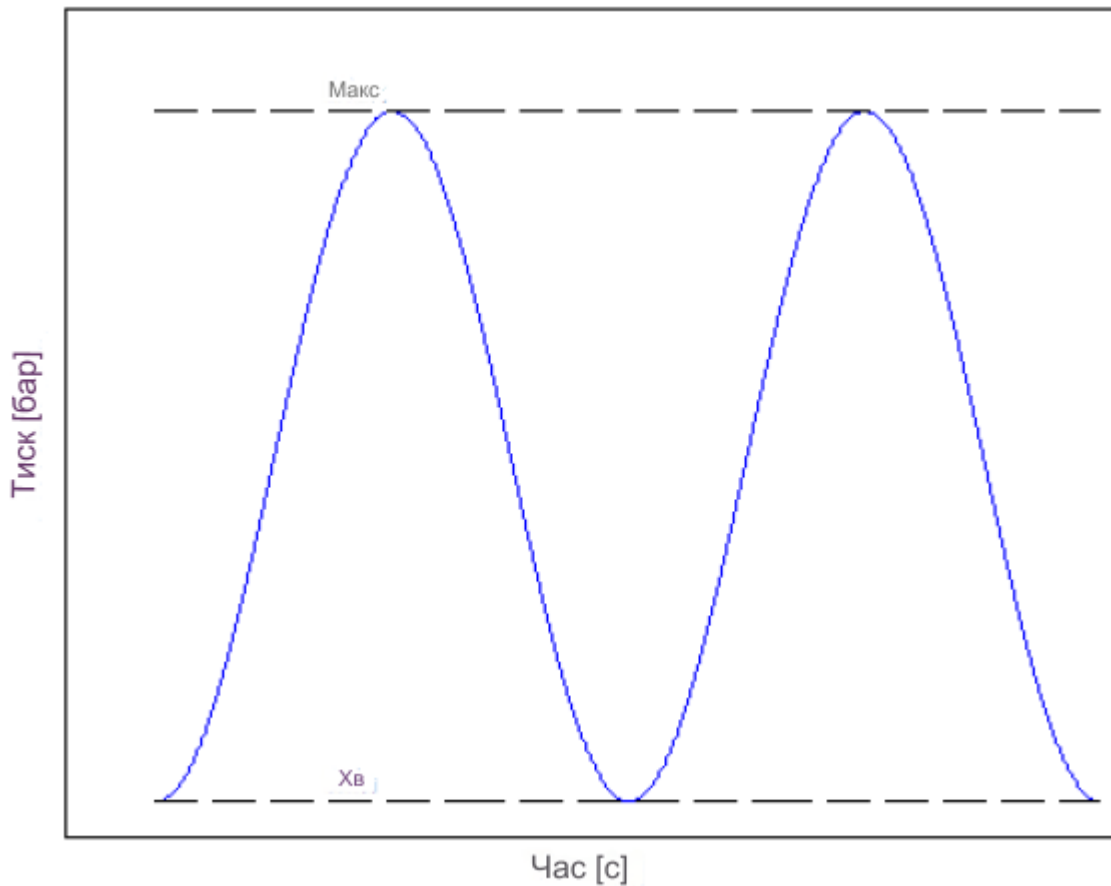


Рис. 2.3. Показано пульсації з однаковою амплітудою між мінімальним та максимальним тиском.

Масляні канали у складових установки забезпечують розподіл тиску від підсилювача тиску до камери згоряння. Використовуватися можуть обидва типи установок, і кожен з них містить блок двигуна, імітаційний поршень, проставку для імітаційного поршня, кріплення основного підшипника, блок підсилювача тиску, підсилювач тиску з керуючими клапанами та датчиками тиску. Ці компоненти зібрані разом та ущільнені гумовими кільцями O-типу для забезпечення герметичності установки. Основні компоненти та схематичний розріз першого типу пристосування можна побачити на рисунку 2.4. Головка циліндра монтується на верхній частині блоку двигуна за допомогою ущільнювача головки циліндра та гвинтів головки циліндра, які закручуються до вказаного моменту згідно з типом двигуна.

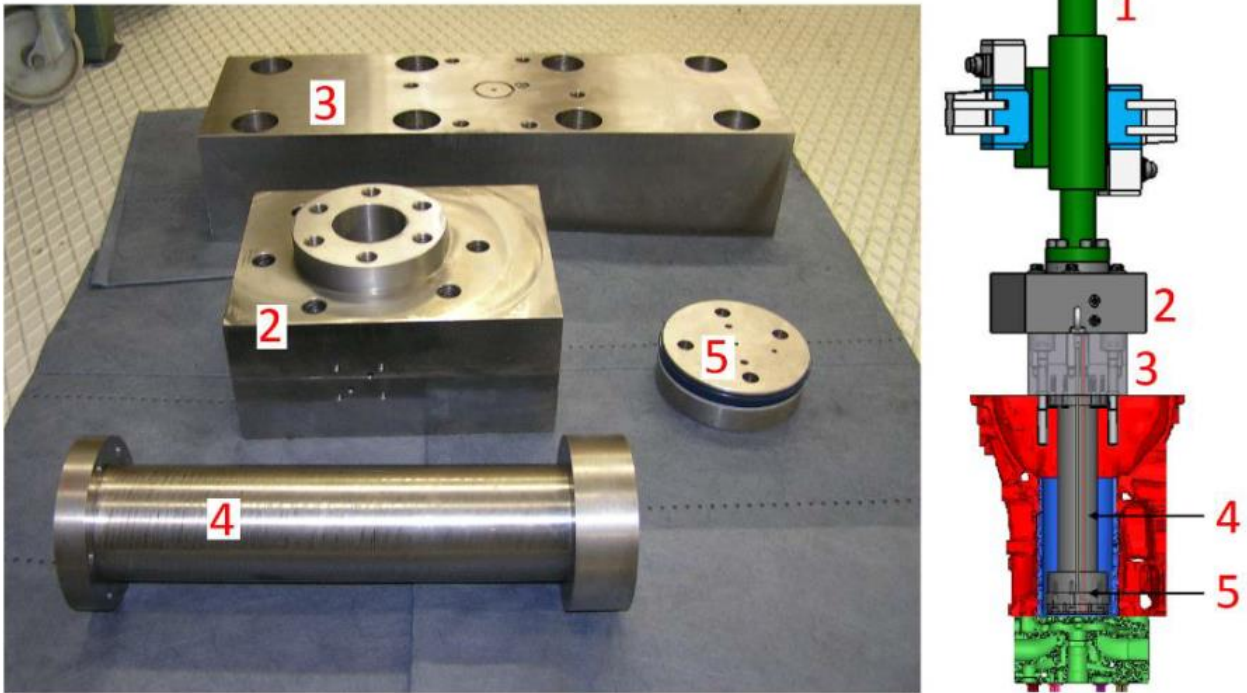


Рис. 2.4. На правому зображенні наведено схематичний малюнок повної установки гідропульсу першого типу оснащення, що включає блок двигуна та циліндричні втулки, налаштовані для перевірки головок циліндрів. Зліва відображено ключові елементи обох видів оснащення:

1 – підсилювач тиску, 2 – блок підсилювача тиску, 3 – кріплення головного підшипника, 4 – проставка для імітаційного поршня, 5 – імітаційний поршень.

При демонтажі головки циліндра виникає загроза проникнення олії у отвори для болтів головки на блоку двигуна. Важливо максимально очистити ці отвори від олії перед установкою нової головки циліндра, оскільки без цього може бути неможливо досягти необхідного моменту затяжки. Об'єкт тестування перевіряється на наявність тріщин за допомогою гідравлічного тиску. У разі появи тріщини, підсилювач тиску може виявити труднощі в підтримці заданих параметрів.

Магнафлюкс обробка циліндра виділяє існуючі тріщини під ультрафіолетовим світлом. Також, розпил дозволяє визначити, чи тріщина знаходиться на поверхні, чи проходить через матеріал до іншої поверхні. На Рисунку 8 видно тріщину, що проходить через матеріал. Методика має високу відтворюваність, і вибір камери для тестування не впливає на результат.



Рис. 2.5. Тріщина, що проходить крізь матеріал, підсвічена Magnaflux та ультрафіолетовим світлом.

2.2.2 Результати випробувань

Діючий метод тестування був застосований до 10 головок циліндрів для визначення межі втоми цієї партії. Головки циліндрів були оцінені за методом двох точок, і визначено межу втоми на рівні 199.9 бар, результати представлені в таблиці 2.1. Межа втоми майже дорівнює критеріям приймання в 200 бар.

Таблиця 2.1. Результати випробувань поточним методом.

P_{max}	Тріщина наскрізь	Витривалість	Сума
Низький рівень	0	5	5
Високий рівень	4	1	5

2.2.3 Тестові приклади – головка циліндра DW

Варіативність тестових варіанти можливі при випробуванні головки циліндра типу "плита", оскільки є опція вибору декількох циліндрів для створення тиску та визначення їх розташування на власний розсуд.

З поточним типом головки циліндра це здійснити неможливо, адже вона покриває лише один циліндр.

18 тестових варіантів, представлених у таблиці 2.2, аналізуються на основі існуючого досвіду тестування, симуляцій та CAD-моделювання у наступних розділах. Ці варіанти включають різні фази, під час яких може бути одночасно тиснено на один чи кілька циліндрів. Деякі варіанти передбачені для перевірки цілої головки циліндра (тестові приклади 1-3, 18), тоді як інші зосереджені на перевірці окремих секцій або конкретних стінок головки циліндра. Перший тестовий приклад слугує як референтний у симуляціях з послідовністю запалення 1-5-3-6-2-4. Він включає шість фаз, по одному циліндру на фазу. Повний тестовий сценарій першого прикладу відображено на рисунку 2.6. Тестові варіанти прикладів 14 та 18 представлені на рисунках 2.7 та 2.8 відповідно.

Таблиця 2.2. Різні тестові варіантів з перевіреними циліндрами, етапами навантаження, кількістю фаз та інформацією про те, чи перевіряється повна головка циліндра. Символи “-“ відповідають “і”, а “/” вказують на розділення між різними фазами тиску. Тестовий приклад 1 використовується як референтний.

Номер тестового варіанту	Циліндри та кроки навантаження	Кількість фаз	Повне тестування головки циліндра
1	1/2/3/4/5/6	6	Так
2	1-3-5/2-4-6	2	Так
3	1-2-3-4-5-6	1	Так
4	1-3-5	1	Ні
5	2-4-6	1	Ні
6	1-4	1	Ні
7	2-5	1	Ні
8	3-6	1	Ні
9	1/2	2	Ні
10	2/3	2	Ні
11	3/4	2	Ні
12	4/5	2	Ні
13	5/6	2	Ні

14	1/2/3	3	Hi
15	2/3/4	3	Hi
16	3/4/5	3	Hi
17	4/5/6	3	Hi
18	1-4/2-5/3-6	3	Так

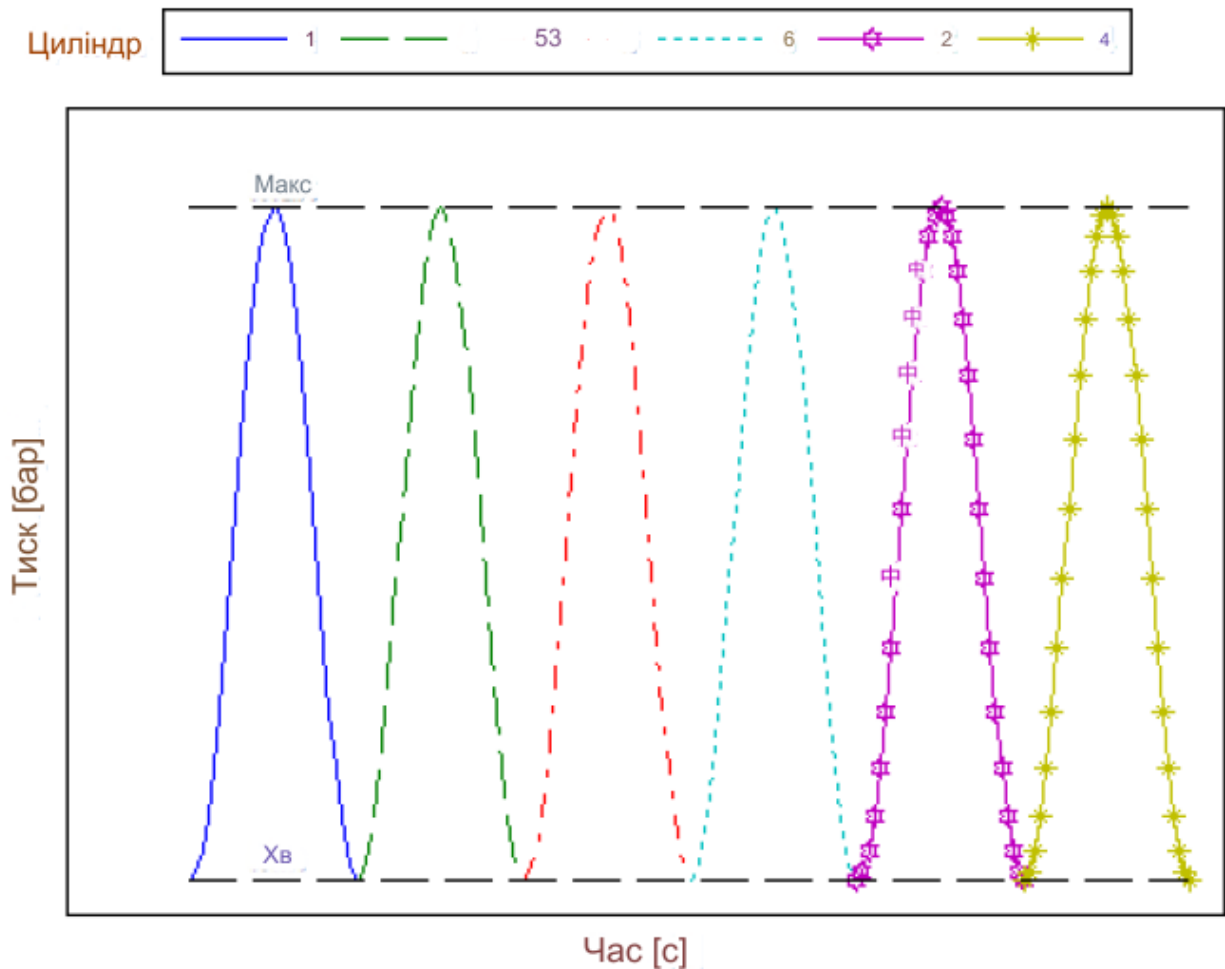


Рис. 2.6. Схема тестових процедур для тестового прикладу 1, який також слугує еталоном у симуляціях.

Цей тест містить шість етапів пульсацій. Кожен колір на діаграмі відзначає окрему фазу. На кожному етапі тиск прикладається до одного циліндра.

Графічні зображення тестових прикладів від 1 до 5 представлені на рисунку 2.9, тестові приклади 6-8 та 18 відображені на рисунку 2.10, а тестові приклади від 9 до 17 зображені на рисунку 2.11. Кожен тестовий цикл складається з усіх етапів відповідного тестового прикладу. Цей цикл

повторюється 3 мільйони разів, формуючи повний випробувальний процес на втому.

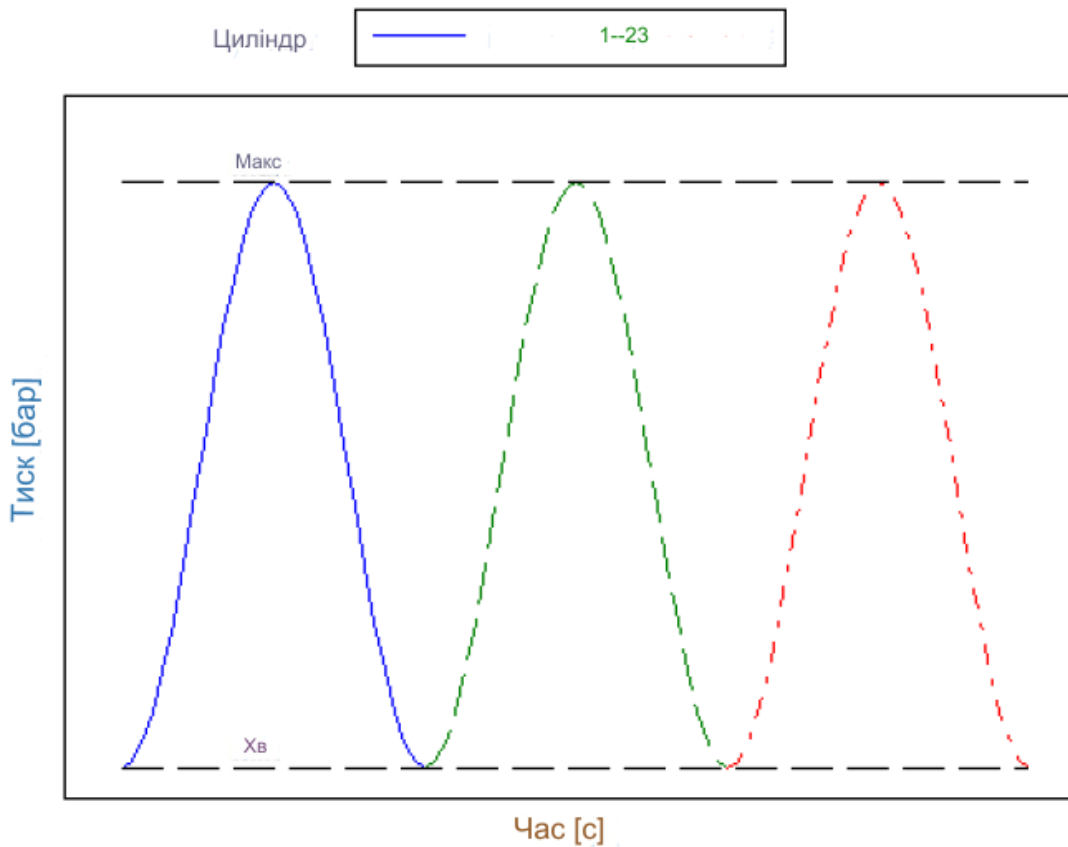


Рис. 2.7. Хронологія тестування для тестового прикладу 14.

У цьому варіанті присутні три етапи, відповідні кольорам на діаграмі. На кожному етапі під тиском перебуває один циліндр.

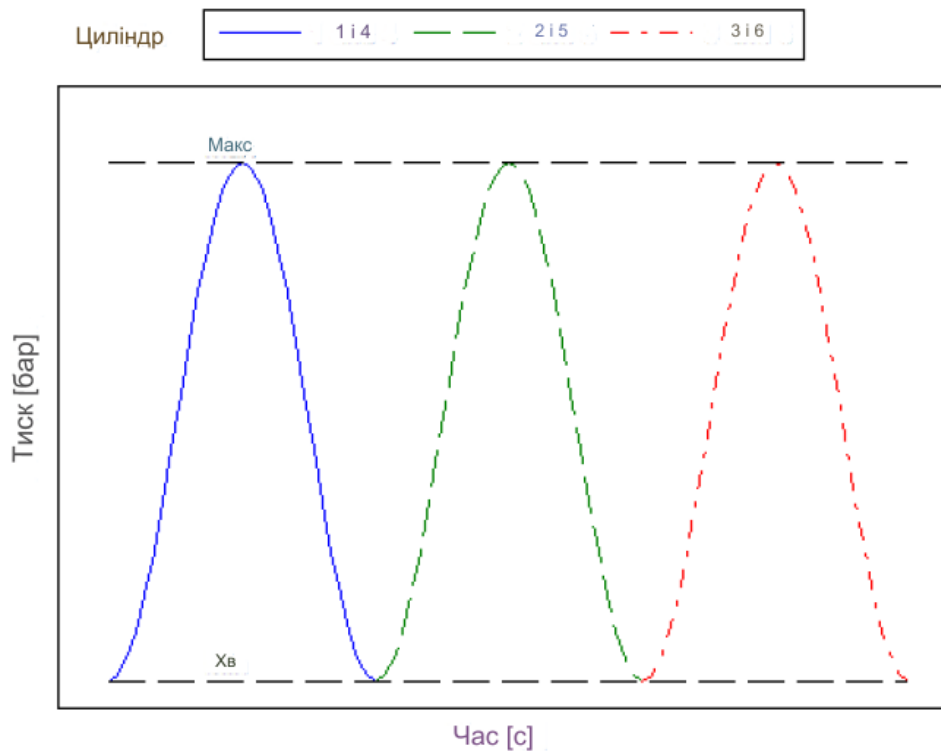


Рис. 2.8. Хронологія тестування для тестового прикладу 18.

В цьому варіанту є три етапи, що також відповідають кольорам на діаграмі. Кожен етап включає тиск на два циліндри.

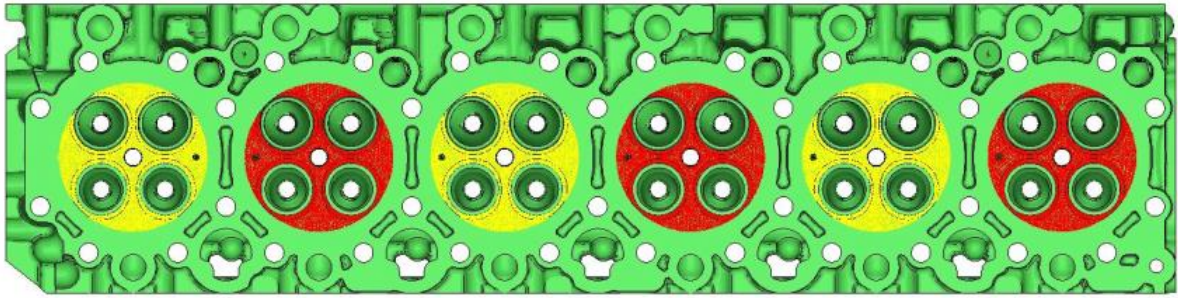


Рис. 2.9. Можливе налаштування різноманітних тестових варіантів із застосуванням циліндрів червоного, жовтого або об'єднаних кольорів, кожен з яких може містити одну або кілька фаз.

Тестовий приклад 1 складається з шести етапів пульсацій, на кожному з яких активується один циліндр. Тестовий приклад 2 має два етапи: на одному червоні циліндри, на іншому – жовті. Тестовий приклад 3 включає одну фазу з усіма циліндрами. Тестові приклади 4 та 5 включають по одній фазі для червоних та жовтих циліндрів відповідно.

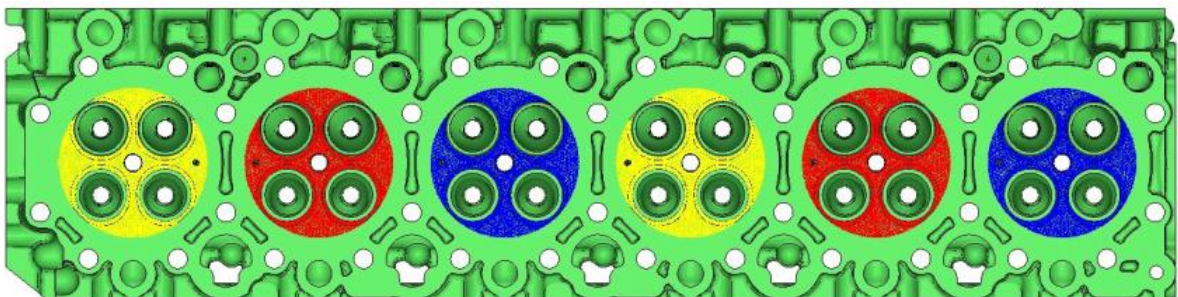


Рис. 2.10. Встановлення різних тестових прикладів з використанням циліндрів червоного, жовтого, синього кольорів, а також комбінацій двох або трьох кольорів, кожен із яких може включати одну або більше фаз.

Тестові приклади 6, 7 і 8 мають по одній фазі з жовтими, червоними та синіми циліндрами відповідно. Тестовий приклад 18 складається з трьох фаз: жовті циліндри у першій, червоні у другій, сині у третій.

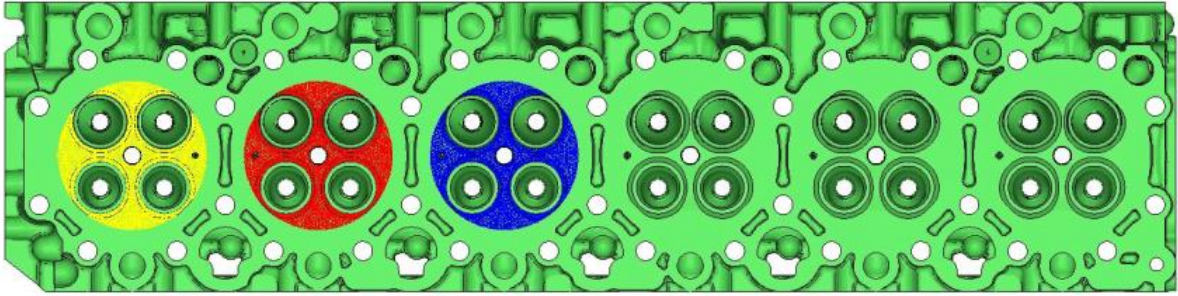


Рис. 2.11. Налаштування різних тестових прикладів з циліндрами червоного, жовтого, синього кольорів, двох або трьох кольорів, що включають одну або кілька фаз.

Тестові приклади 9-13 містять дві фази, де одна фаза включає жовтий циліндр, а інша – червоний. Розташування кольорів циліндрів відповідає тестовому прикладу 9, при цьому кожне збільшення номера тестового прикладу супроводжується зсувом жовтого кольору праворуч на таку саму кількість одиниць. Тестові приклади 14-17 складаються з трьох фаз: перша фаза з жовтим циліндром, друга з червоним, третя з синім. Актуальний колірний малюнок відповідає тестовому прикладу 14. Інші тестові приклади зсуваються праворуч на стільки ж циліндрів, на скільки зростає номер тестового прикладу.

2.3 Моделювання процесу діагностики головки блока циліндрів двигуна

Модель, що складається з блоку двигуна, верхньої частини циліндрів, шести вставок для циліндрів та 38 гвинтів, яка слугує основою для моделювання. Ця модель вже була використана для аналізу ефектів послідовного застосування навантаження на декілька циліндрів. На рисунку 2.12 представлено всі частини моделі, за винятком блоку двигуна. За допомогою програми HyperMesh, модель була оптимізована для кращого використання в тестових варіантах. Оптимізація включала оновлення верхньої частини циліндрів до найсучаснішого дизайну, коригування коефіцієнту надійності з 1.6 до 1.5, а також перегляд етапів навантаження для відповідності різним методикам тестування.

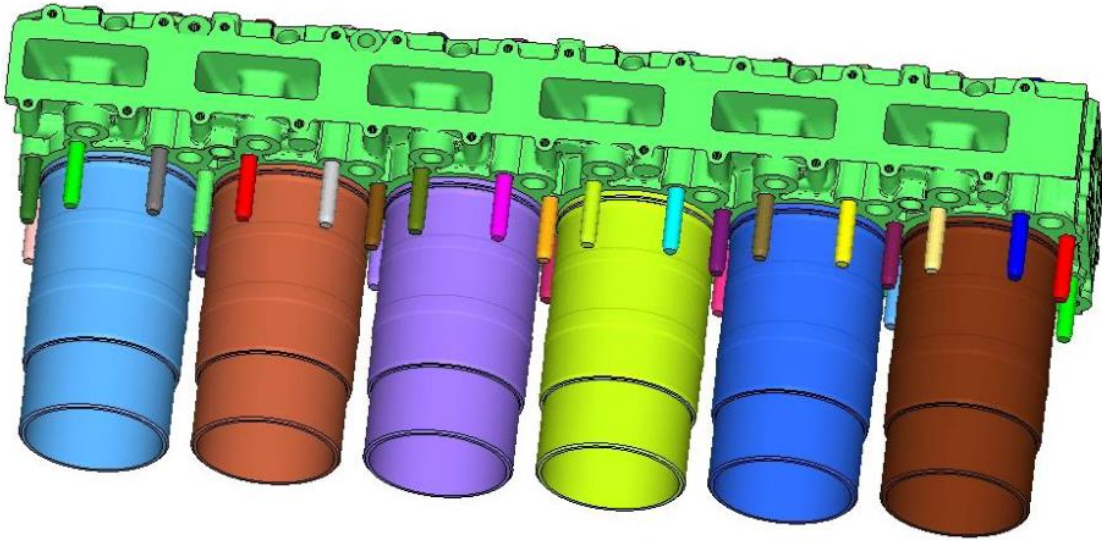


Рис. 2.12. Вигляд зібраної моделі з верхньою частиною циліндрів, гвинтами та вставками для циліндрів, без блоку двигуна.

Циліндри можуть бути пресовані в різних комбінаціях та етапах. Зокрема, циліндри 1, 3 та 5 можна пресувати одночасно, а циліндри 2, 4 та 6 - в іншому порядку. Кількість етапів навантаження збільшено до 13 порівняно з семи в оригінальній версії, деталі цих етапів представлені у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3. Опис кроків навантаження в моделі.

1	Попереднє натягнення болтів головки циліндрів
2	Тиск у всіх циліндрах + крок навантаження 1
3	Тиск у циліндрі 1 + крок навантаження 1
4	Тиск у циліндрі 2 + крок навантаження 1
5	Тиск у циліндрі 3 + крок навантаження 1
6	Тиск у циліндрі 4 + крок навантаження 1
7	Тиск у циліндрі 5 + крок навантаження 1
8	Тиск у циліндрі 6 + крок навантаження 1
9	Тиск у циліндрах 1, 3 і 5 + крок навантаження 1
10	Тиск у циліндрах 2, 4 і 6 + крок навантаження 1
11	Тиск у циліндрах 1 і 4 + крок навантаження 1
12	Тиск у циліндрах 2 і 5 + крок навантаження 1
13	Тиск у циліндрах 3 і 6 + крок навантаження 1

Перший крок аналізу полягає у попередньому затягуванні гвинтів верхньої частини циліндрів до 130 кН, що зберігається в наступних етапах, де

до бажаних циліндрів додається тиск. Врахування клапанів у верхній частині циліндрів спрощує розрахунки, з тиском, що відповідає розміру клапанів та тиску в камері згоряння. З урахуванням коефіцієнту надійності 1.5 і максимального тиску P_{max} у 250 бар, тиск у моделі перераховується зі старих даних, що відповідають коефіцієнту надійності 1.6. Перераховані значення та відповідні поверхні представлені в таблиці 2.4 і на рисунку 2.13.

Таблиця 2.4. Тиск у моделі з коефіцієнтом надійності 1.6 та перераховані значення з коефіцієнтом надійності 1.5.

Коефіцієнт надійності:	1.6	1.5
Тиск у циліндрі [бар]	400	375
Тиск на вихлопному клапані [бар]	97.3	94.6875
Тиск на впускному клапані [бар]:	139.4	134.15625

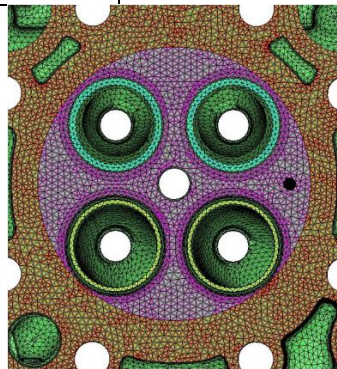


Рис. 2.13. Зображення нижніх поверхонь головки циліндрів.

Область, що має червоний колір, знаходиться у контакті з блоком двигуна та вставками циліндрів, у фіолетовому кольорі виділені зони, на які впливає тиск у циліндрах. Блакитний колір позначає розташування сідел вихлопних клапанів, а жовтий вказує на розташування сідел впускних клапанів.

У верхній частині циліндрів сітка вельми деталізована з розміром елементів близько 3.4 мм, тоді як у таких компонентах, як блок двигуна та втулки циліндрів, вона значно крупніша, досягаючи в деяких місцях до 40 мм. Це не є критичним, оскільки головна увага приділяється саме головці циліндрів. Вигляд сітки головки циліндрів зовні можна побачити на рисунку 2.14. Перевірка збіжності сітки не здійснювалася, адже загальний час проведення моделювання всіх 13 етапів навантаження на кластері Abaqus в Scania, оснащеному 64 процесорами, становить близько 3 днів і 10 годин.

Припускається, що розмір сітки моделі є адекватним, адже її постійно використовують.



Рис. 2.14. Сітка на головці циліндрів. Розмір елементів сітки вельми малий, близько 3.4 мм.

Модель виконана за допомогою елемента Abaqus C3D10M, це твердий модифікований тетраедричний елемент другого порядку з 10 вузлами, який добре працює з трикутною сіткою та в контактних задачах. Це важливо, оскільки створення якісної сітки без трикутників ускладнено через складну геометрію. Матеріал моделі - це еластичний ізотропний матеріал з властивостями сірого чавуну, який застосовується для виготовлення головки циліндрів, блоку двигуна і циліндрових втулок. Болти виготовлені зі сталі з модулем пружності 208 ГПа та коефіцієнтом Пуассона 0.3. Граничні умови охоплюють фіксацію основних опорних поверхонь. Для з'єднання частин застосовується контакт із коефіцієнтом тертя 0.15, крім місць різьблення на болтах і блоку двигуна, нижньої частини головок болтів і головки циліндрів та між блоком двигуна та втулками, де застосовується жорстке з'єднання. Модель була експортована з HyperMesh на кластер та оброблена за допомогою Abaqus 6.14-2 та нелінійного розрахунку. Використані в моделі параметри викладені у таблиці 2.5.

Таблиця 2.5. Параметри, використані в моделюванні.

Тип елемента	C3D10M
Матеріальна модель (крім болтів)	Scania GJL300
Модуль пружності болтів	208 ГПа
Коефіцієнт Пуассона болтів	0.3
Коефіцієнт тертя	0.15

2.4 Оцінка коефіцієнтів надійності з використанням програми FEMFAT

Дані про матеріал використовуються з файлу Scania GG-25_FKM2002.fdd (GJL-250), який представляє собою сірий чавун з межею міцності при розтягненні 250 МПа, що є нижчим за звичайну міцність матеріалів для головок циліндрів, але показало порівнянну межу втоми.

Для імплементації кількох кроків навантаження в FEMFAT використовується модуль TransMAX, який надає можливість обраховувати коефіцієнт надійності для кожного вузла при різних перехідних навантаженнях. У TransMAX тестові варіанти складаються з кроків навантаження, обраних із файлу результатів. Кожен запуск FEMFAT еквівалентний одному тестовому сценарію.

Коефіцієнт надійності, визначений у FEMFAT, відрізняється від того, що використовується під час навантаження моделі. FEMFAT обраховує коефіцієнт надійності, враховуючи тиск, який застосовується у моделі. Цей тиск є максимальним проектним тиском, скорегованим згідно з коефіцієнтом надійності при навантаженні. Таким чином, коефіцієнт надійності 1 у FEMFAT відповідає коефіцієнту 1.5 з урахуванням навантаження.

Правильний вибір кроків навантаження в FEMFAT критично важливий для отримання точних результатів. Якщо вибір варіанту навантаження виконано так, що вибрано "inc. last" замість "inc. 1", в симуляції будуть використовуватися більше кроків навантаження, ніж потрібно для кожного обраного етапу. Адекватний підхід до вибору представлено на рисунку 2.15. Для забезпечення консистенції результатів в одній і тій же моделі (що дозволяє легко коригувати результати з різних обчислень FEMFAT у Abaqus), файл результатів одного обчислення використовується як вхідний для наступного обчислення в FEMFAT. В такий спосіб наступний набір даних додається до файлу результатів.

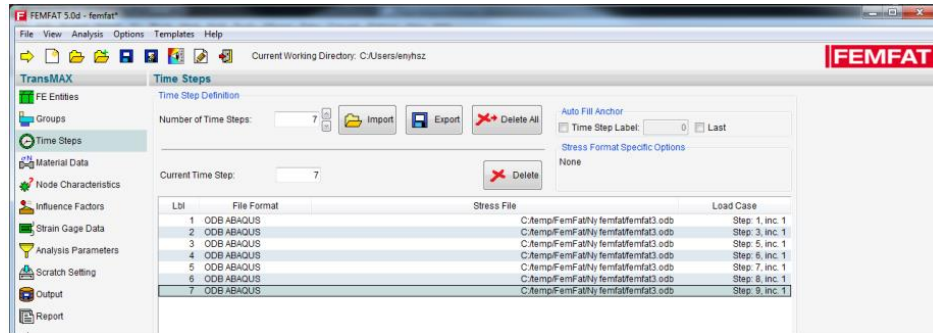


Рис. 2.15. Визначення кроків навантаження у FEMFAT TransMAX.

У базовому варіанті, складеному з циклу запуску, коефіцієнт надійності в FEMFAT виявляється вищим за одиницю у понад 99,94% об'єму головки циліндра. Графічне відображення розподілу коефіцієнтів надійності представлено на рисунку 2.16. Із цього розподілу та локалізації областей з низькими коефіцієнтами надійності можна визначити ділянки з підвищеним ризиком втоми. Розподіл коефіцієнта надійності на геометрії зображений на рисунку 2.17. З цього зображення стає очевидним, що внутрішня частина нижньої половини головки циліндра найбільш схильна до втоми. Детальне зображення критичних ділянок цієї частини можна переглянути на рисунку 2.18. Такі критичні ділянки розповсюджуються уздовж головки циліндра та найімовірніше можуть стати джерелом втомних тріщин.

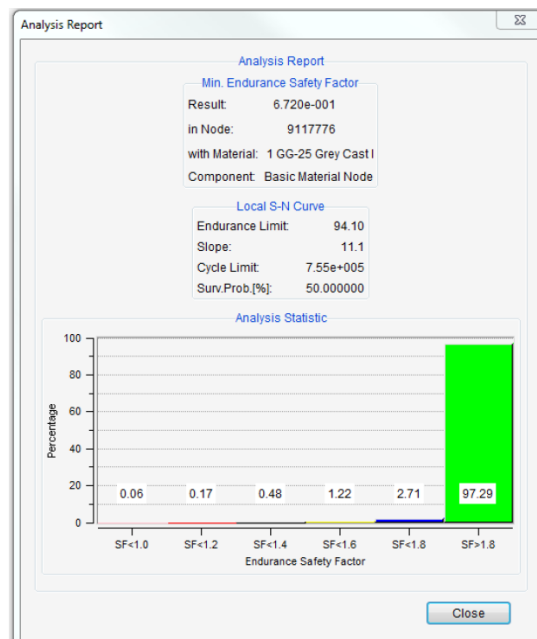


Рис. 2.16. Графічне відображення розподілу коефіцієнтів надійності в головці циліндрів у базовому варіанті за даними FEMFAT. Коефіцієнт надійності 1 у FEMFAT еквівалентний коефіцієнту надійності 1.5 при навантаженні.

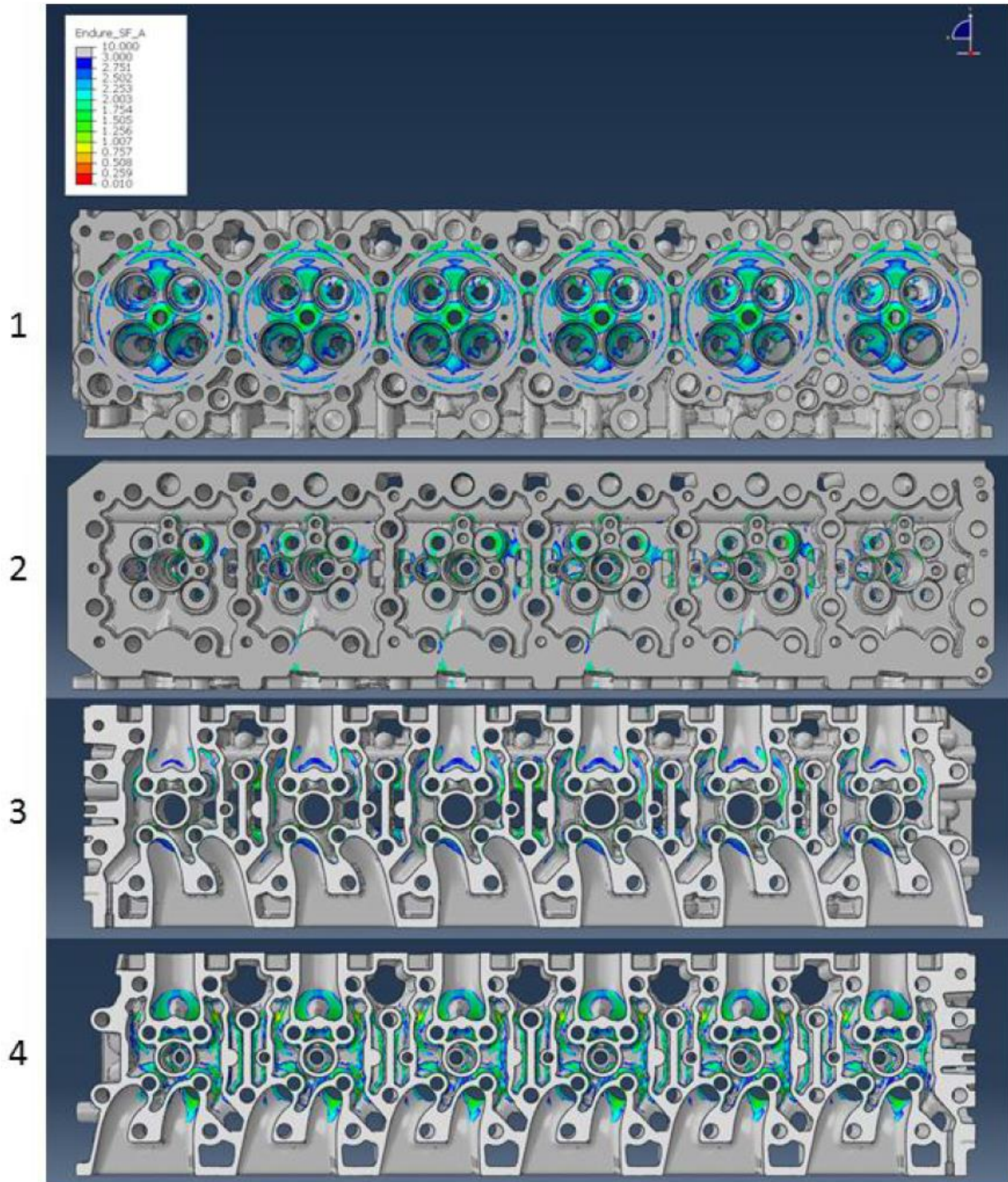


Рис. 2.17. Діаграми розподілу коефіцієнта надійності в базовому варіанту.

1 – вид з низу, 2 – вид згори, 3 – верхня половина знизу без нижньої половини, 4 – нижня половина зверху без верхньої половини.

У діаграмі 4 видно, що в деяких місцях коефіцієнт надійності менший за одиницю; детальніше зображення цих ділянок наведено на рисунку 2.18.

Альтернативні тестові варіанти демонструють дещо відмінні результати. Тестові варіанти 4-8 демонструють більший коефіцієнт надійності порівняно з базовим, тому що сусідні циліндри залишаються непресованими, причому сценарій 4 представлений на рисунку 2.19. Тестові варіанти 9-17, які

застосовують послідовне навантаження, забезпечують кращу кореляцію з базовим сценарієм у просторі між центрами зовнішніх отворів циліндрів, де сценарій 11 зображений на рисунку 2.20. Тестові варіанти 2, 3 та 18 відображають подібну картину до базової, але з відмінностями величини коефіцієнтів надійності в окремих районах, що ілюстровано на рисунках 2.21 – 2.23 відповідно. Різні тестові варіанти в таблиці 2.2 можна класифікувати на п'ять категорій залежно від зазначених результатів. Перший тестовий сценарій є базовим і тому не включений до жодної категорії. У таблиці 2.6 представлені всі тестові варіанти з вказівкою номерів їх категорій.

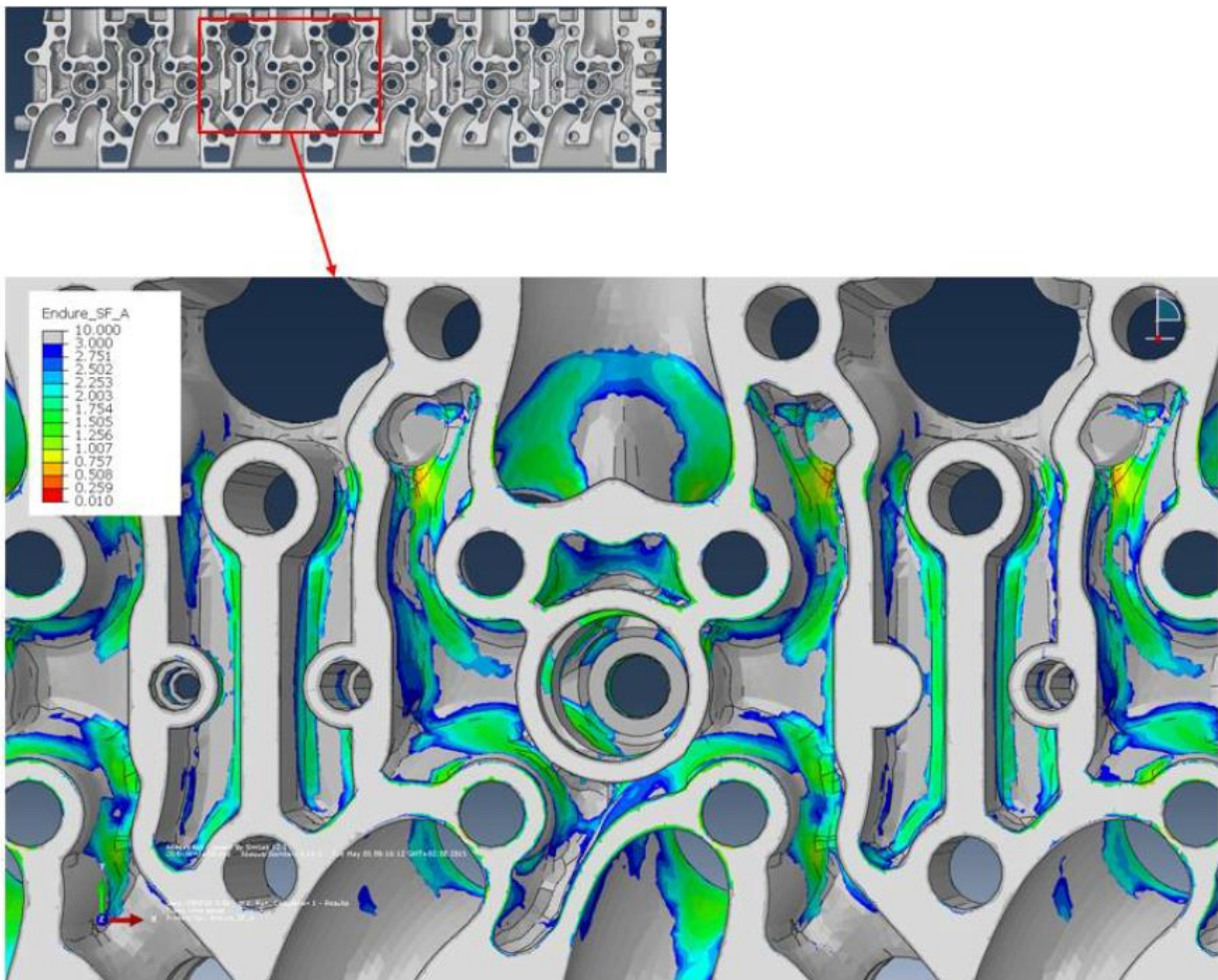


Рис. 2.18. Детальне зображення коефіцієнта надійності в нижній частині головки циліндра з перспективи зверху у вихідному варіанту.

Райони жовтого та червоного кольорів найімовірніше будуть локалізацією початку втомних тріщин. Ці райони регулярно повторюються у просторі між циліндрами.

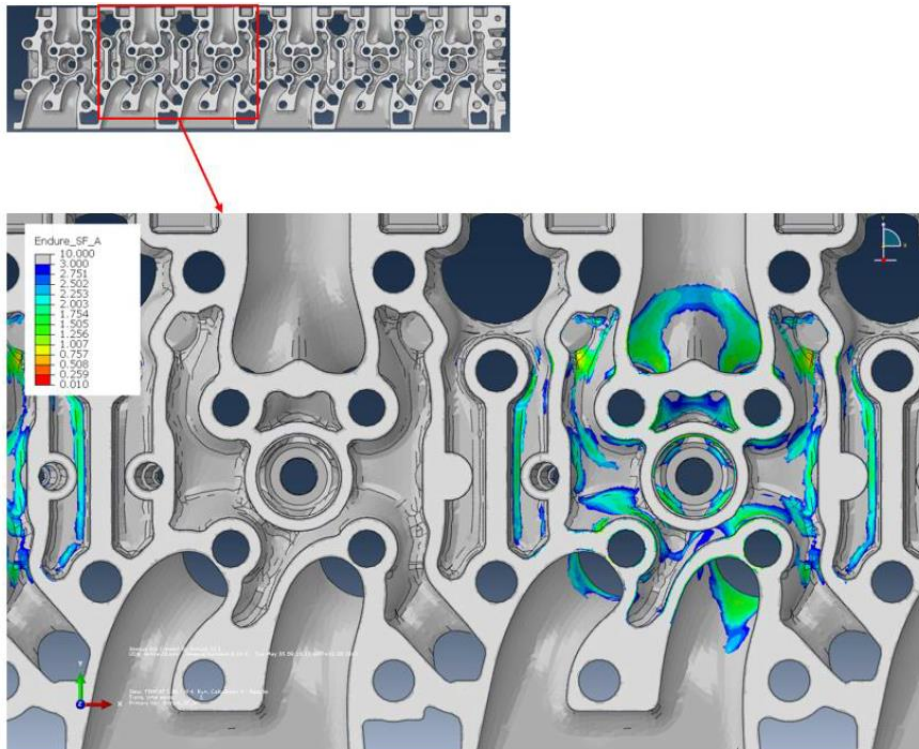


Рис. 2.19. Підвищена деталізація коефіцієнта надійності у нижній частині головки циліндра з верхньої перспективи у тестовому варіанту 4.

Жовті та червонуваті ділянки є основними кандидатами для виникнення тріщин втоми, вони показують більші показники коефіцієнта надійності порівняно з базовим варіантом. Ці ділянки з'являються повторно в залежності від схеми пресування в цьому тесті.

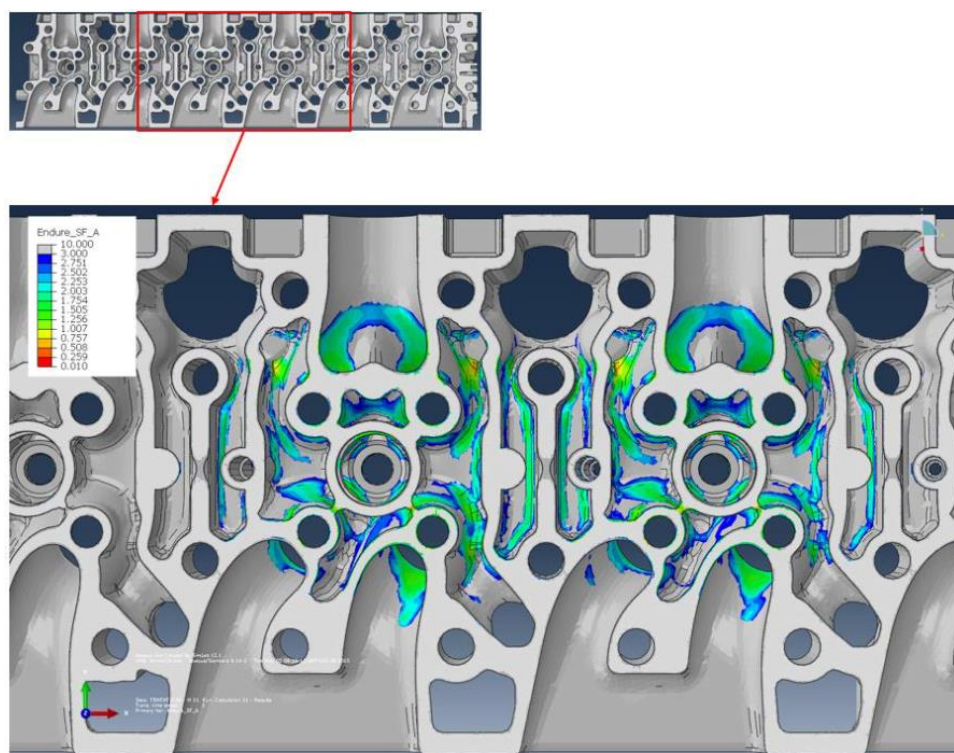


Рис. 2.20. Збільшене зображення коефіцієнта надійності в нижній половині головки циліндра згори у тесті №11.

Жовті та червоні області визначаються як найбільш схильні до утворення тріщин втоми, маючи більш високий коефіцієнт надійності, ніж у довідковому варіанті. Ці зони повторюються у відповідності з режимом пресування в даному тесті.

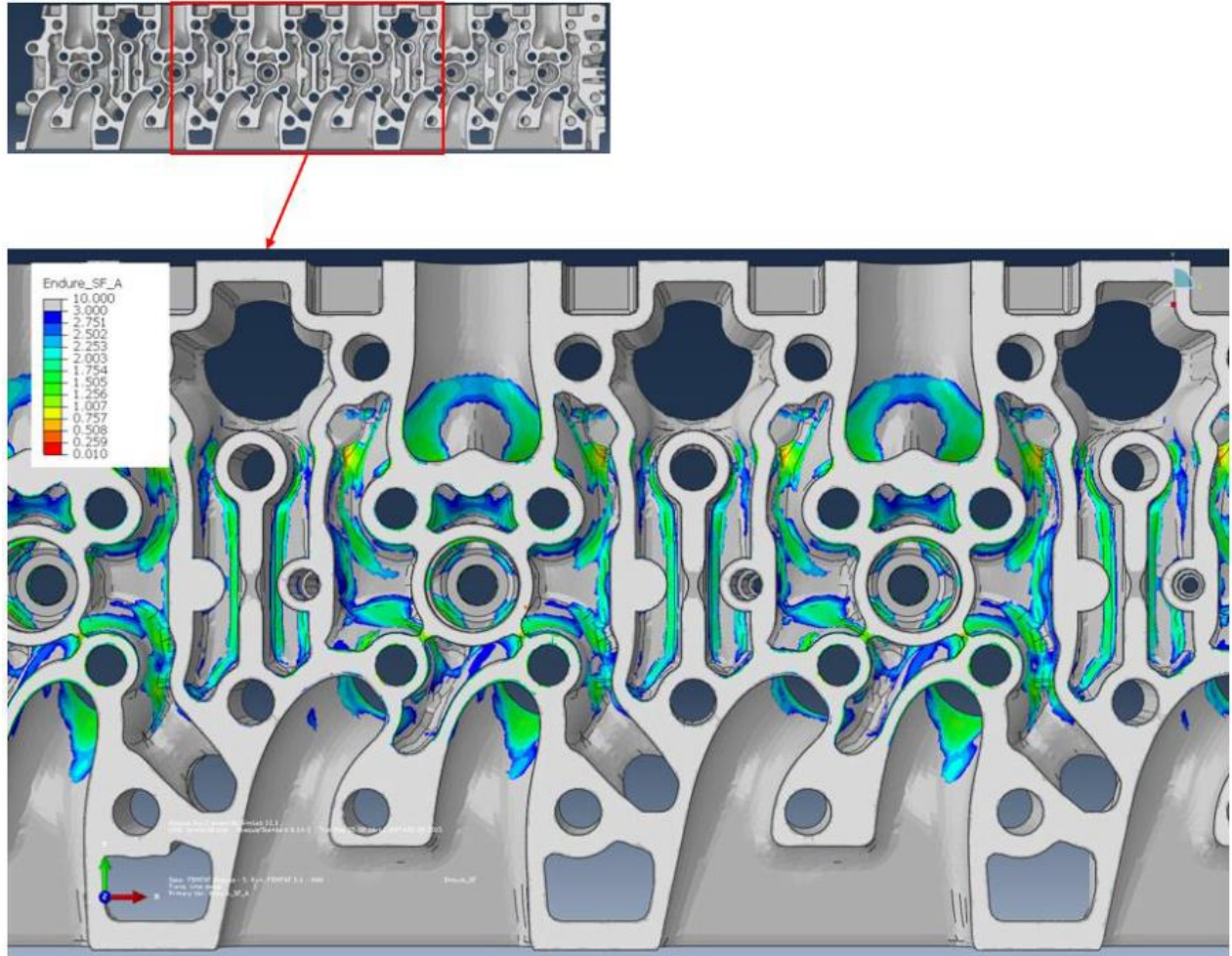


Рис. 2.21. Збільшене зображення коефіцієнта надійності нижньої частини головки циліндра із перспективи зверху у тестовому варіанті 2.

Жовті та червонуваті зони визначені як найбільш ймовірні точки для виникнення втомних тріщин.

Таблиця 2.6. Тестові випадки та їх номери категорій, що відповідають типу результатів з симуляцій. Тестовий випадок номер один використовується як референсний випадок і тому не має призначеного номера категорії. Символи “–” відповідають слову “та”, а “/” вказує на розділення між різними фазами тиску.

Номер тестового варіанту	Циліндри та кроки навантаження	Категорія
1	1/2/3/4/5/6	Референсний випадок
2	1-3-5/2-4-6	3

3	1-2-3-4-5-6	5
4	1-3-5	1
5	2-4-6	1
6	1-4	1
7	2-5	1
8	3-6	1
9	1/2	2
10	2/3	2
11	3/4	2
12	4/5	2
13	5/6	2
14	1/2/3	2
15	2/3/4	2
16	3/4/5	2
17	4/5/6	2
18	1-4/2-5/3-6	4

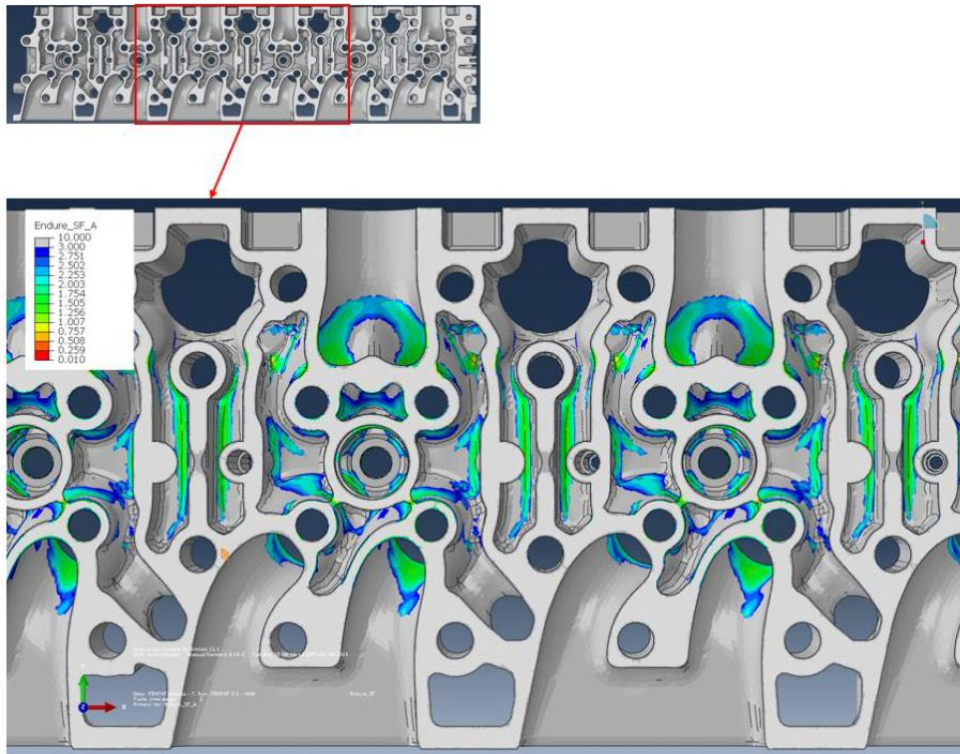


Рис. 2.22. Детальний огляд коефіцієнта надійності у нижній частині головки циліндра з перспективи зверху у тесті №3.

Жовті та червоні області вказані як місця з найвищою ймовірністю утворення тріщин втоми.

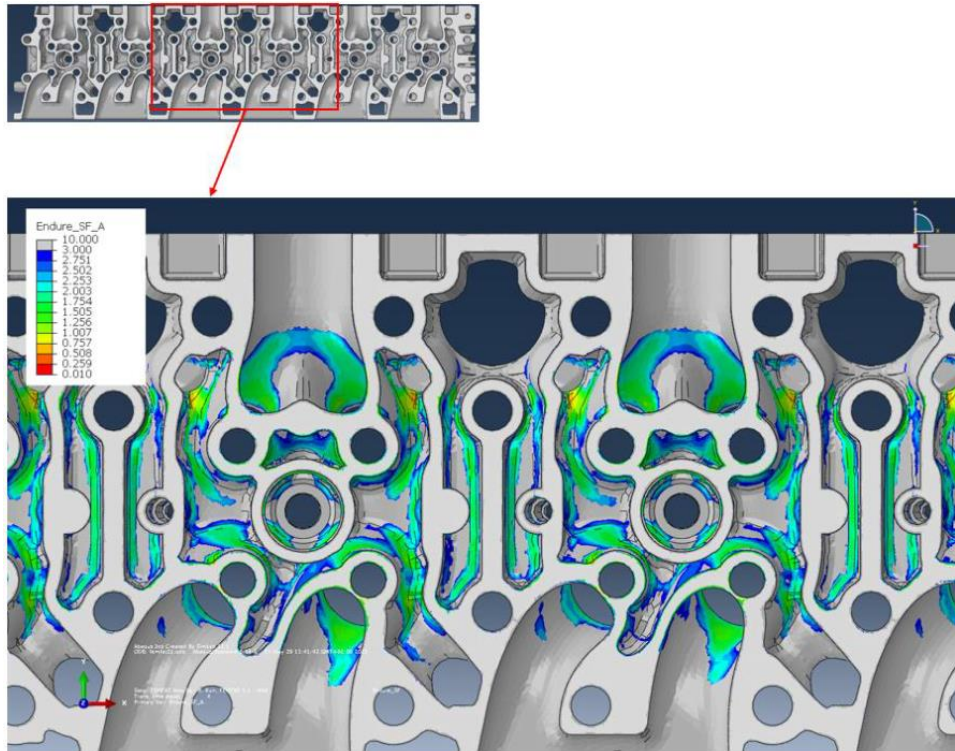


Рис. 2.23. Збільшення деталей коефіцієнта надійності в нижній частині головки циліндра з виду зверху у тестовому варіанту 18.

Жовті та червонуваті ділянки є основними кандидатами для виникнення тріщин втоми.

2.5 Обробка результатів

В рамках моделювання, файл з результатами FEMFAT завантажується до переглядача Abaqus. У цьому переглядачі можливе формування нових наборів даних з уже існуючих за допомогою інструмента "create field output". Більш складені виводи полів можуть бути сформовані через виконання Python-скриптів у Abaqus. Для точнішого порівняння показників FEMFAT розроблено Python-скрипт, який переозначає всі значення коефіцієнта надійності FEMFAT SF_{FEMFAT} , якщо вони перевищують 1, до 1, відповідно до формули, де SF_{mod} є адаптованим коефіцієнтом надійності FEMFAT.

$$SF_{mod} = \begin{cases} 1 & SF_{FEMFAT} \geq 1 \\ SF_{FEMFAT} & SF_{FEMFAT} < 1 \end{cases}$$

Обираючи 1 як критичне значення, проводиться аналіз усіх вузлів, які не задовольняють встановлені критерії. Зіставлення змінених даних із FEMFAT реалізується через генерацію полів виводу за допомогою Python-скрипта згідно з заданими параметрами.

$$Field_i = \left(\frac{SF_{mod,i}}{SF_{mod,ref}} - 1 \right) \cdot 100$$

де $SF_{mod,ref}$ - це змінений коефіцієнт надійності, отриманий у FEMFAT для базового варіанту, а $SF_{mod,i}$ - змінений коефіцієнт надійності FEMFAT для тестового варіанту i . Результат показує відносну різницю у відсотках і відображається на моделі головки циліндра. Для більш детального огляду критичних зон головки циліндра проводиться поперечний розріз у середині головки по товщині, що відкриває внутрішні поверхні водяних каналів. Також можливий варіант з двома розрізами, як це робиться при виявленні тріщин, але це не дає додаткових даних для симуляції.

Аналіз результатів з використанням Python-скрипту в Abaqus показує, що критичні зони у базовому варіанту збігаються з областями, де різні тестові випадки показують найбільші відхилення. Негативна відносна різниця вказує на жорсткіші умови тестування порівняно з базовим варіантом і навпаки. Частини головки циліндра, які не знаходяться в безпосередній близькості до пресованого циліндра під час симуляції, показують значну різницю з базовим варіантом, яка в деяких випадках досягає 50%. П'ять різних категорій у таблиці 2.6 мають різні характеристики відносної різниці від базового варіанту. Відносну різницю для кожної категорії наведено в таблиці 2.7.

Таблиця. 2.7. Категорії тестових і базовим варіантом.

Категорія	Відносна різниця в цільовій тестовій області	Номер тестового варіанту
1	49%	4 - 8
2	~ 0%	9 - 17
3	-2.5% - 12%	2
4	-3% - 8%	18
5	-20% - 50%	3

Приклад результатів першої категорії наведено на рисунку 2.24, де відносна різниця порівняно з базовим випадком у тестовому варіанті 5 зображена на циліндрі 4. У цій категорії максимальна різниця у непресованих циліндрах досягає 49%, тоді як у пресованих циліндрах вона складає 25%.

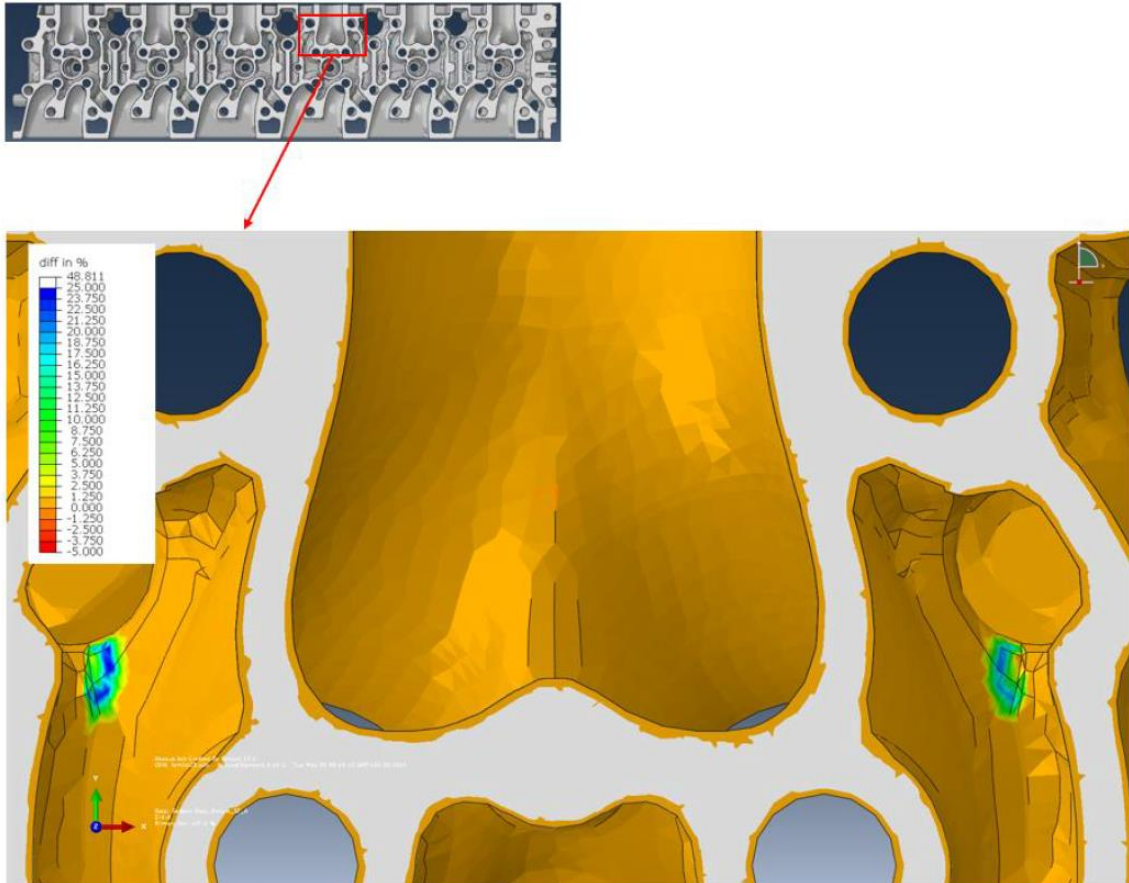


Рис. 2.24. Відносна різниця для циліндра 4.

Збільшене зображення нижньої частини головки циліндра з видом зверху в тестовому випадку 5. У найгіршій точці циліндра 4 різниця становить 25% порівняно з референсним випадком. Позитивна різниця вказує на те, що тестовий випадок менш суворий для головки циліндра, ніж референсний.

Приклад результатів другої категорії наведено на рисунку 2.25, де відносна різниця порівняно з базовим випадком у тестовому варіанті 12 показана на циліндрах 4 і 5. Ця категорія має дуже високу відповідність базовому варіанті між центрами зовнішніх циліндрів у послідовності. Поза цією областю різниця зростає і досягає 49% у сусідніх циліндрах.

Результати третьої категорії представлені на рисунку 2.26, де відносна різниця порівняно з базовим випадком у тестовому варіанті 2 показана на циліндрі 4. У цій категорії максимальна різниця становить 12%, але також присутня негативна різниця у 2,5%.

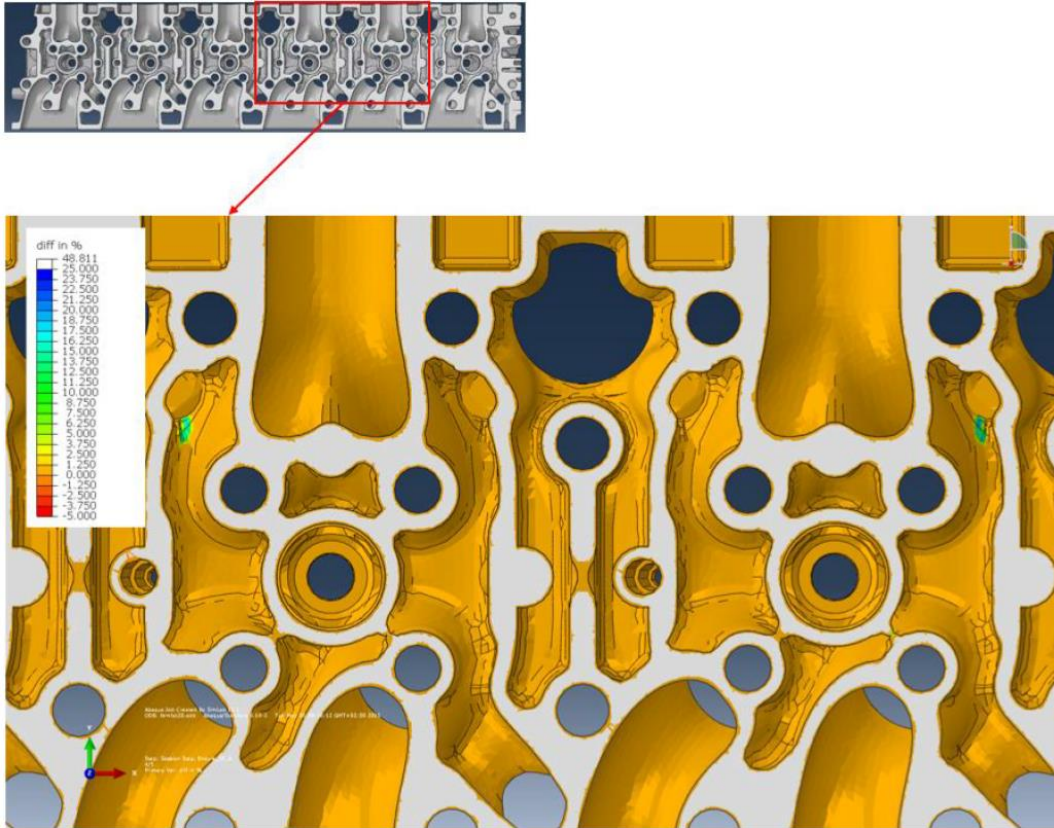


Рис. 2.25. Відносна різниця для циліндрів 4 і 5.

Збільшене зображення нижньої частини головки циліндра з видом зверху в тестовому випадку 12. Відповідність між центрами циліндрів 4 і 5 до референсного випадку є доброю. Поза цією областю різниця значно більша.

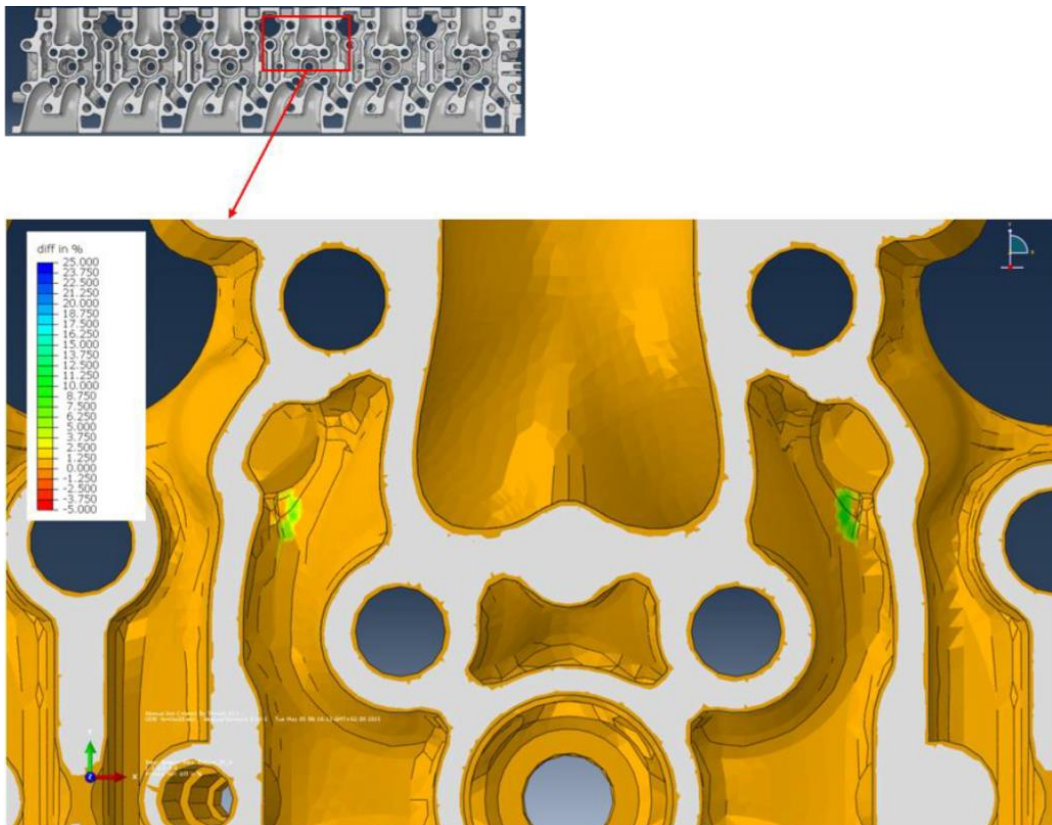


Рис. 2.26. Відносна різниця для циліндра 4.

Збільшене зображення нижньої частини головки циліндра з видом зверху в тестовому випадку 2. У найгіршій точці головки циліндра різниця становить 12% порівняно з референсним випадком. Також є ділянки, де відносна помилка сягає мінус 2,5%. Ці негативні значення свідчать про те, що тестовий випадок дещо жорсткіший для головки циліндра, ніж референсний.

Результати четвертої категорії наведено на рисунку 2.27, де відносна різниця порівняно з базовим випадком у тестовому варіанті 18 показана на циліндрах 3 і 4. У цій категорії максимальна різниця становить 8%, але також присутня негативна різниця у 3%.

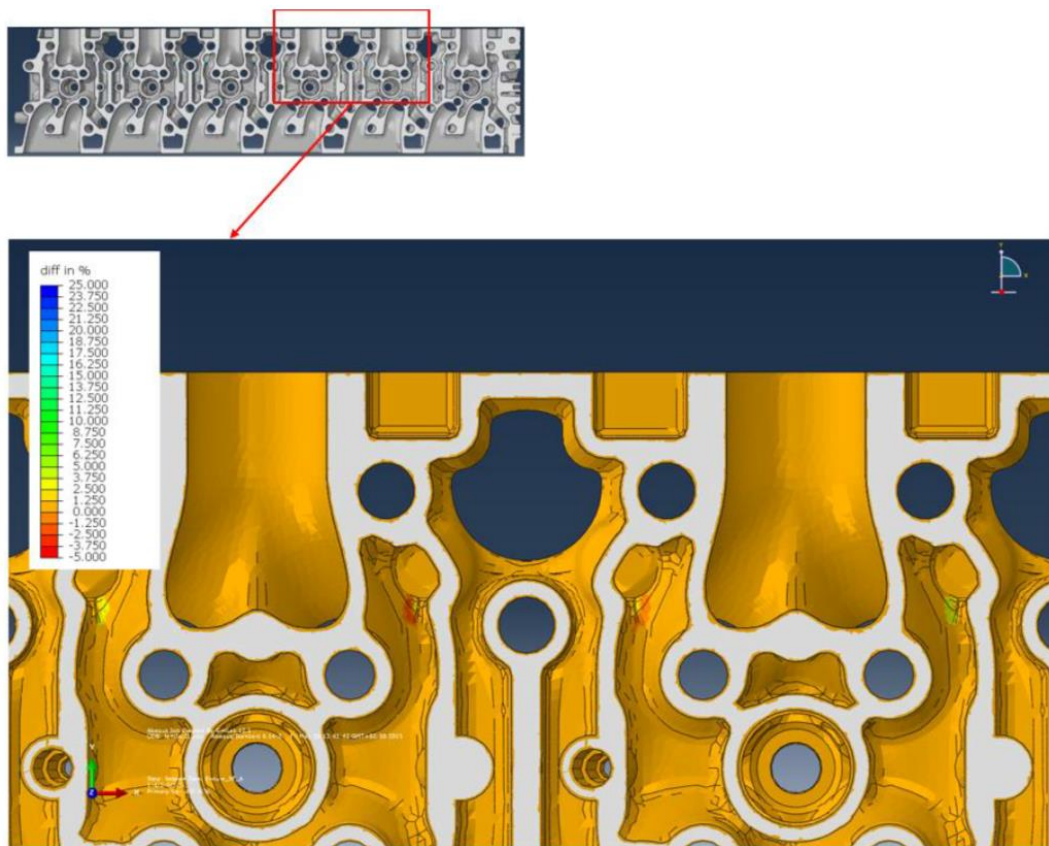


Рис. 2.27. Відносна різниця для циліндрів 3 і 4.

Збільшене зображення нижньої частини головки циліндра з видом зверху в тестовому випадку 18. У найгіршій точці головки циліндра різниця становить 8% порівняно з референсним випадком. Також є ділянки, де відносна помилка сягає мінус 3%. Ці негативні значення свідчать про те, що в деяких місцях тестовий випадок трохи жорсткіший для головки циліндра, ніж референсний.

Результати п'ятої категорії можна побачити на рисунках 2.28 і 2.29, де відносна різниця порівняно з базовим випадком у тестовому варіанті 3 показана

на циліндрі 4. У цій категорії спостерігаються значні відмінності від базового варіанти: не тільки позитивна різниця у 50%, але й негативна різниця у 20%.

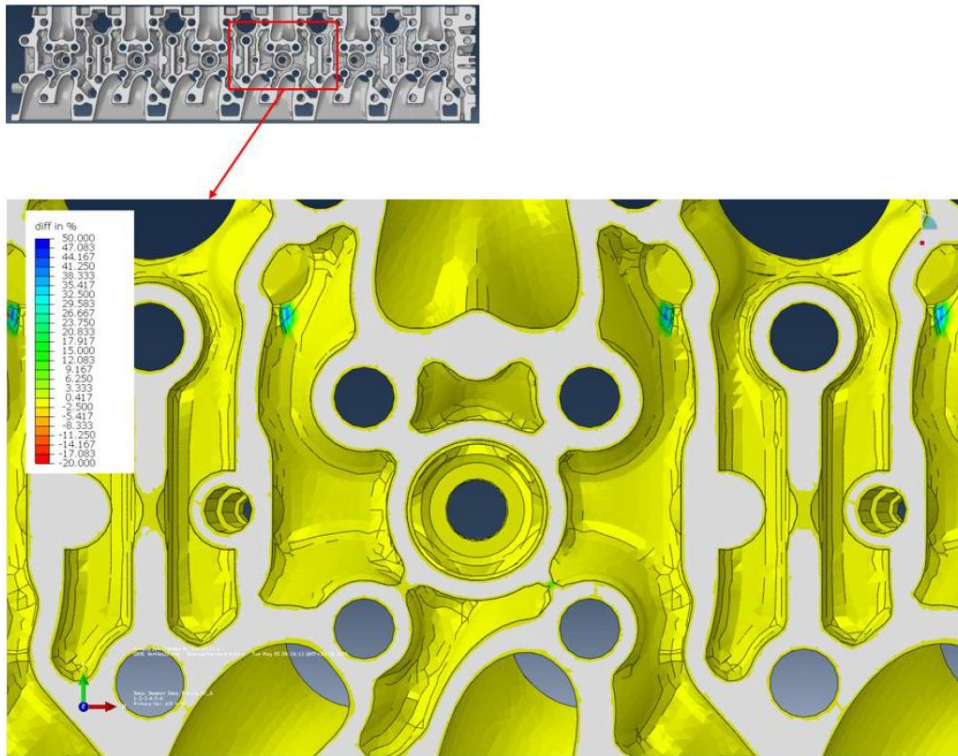


Рис. 2.28. Відносна різниця для циліндра 4.

Збільшене зображення нижньої частини головки циліндра з видом зверху в тестовому випадку 3. Різниця з референсним випадком велика і досягає 50% у найгіршій точці. Позитивна різниця вказує на менш агресивний метод тестування порівняно з референсним випадком.

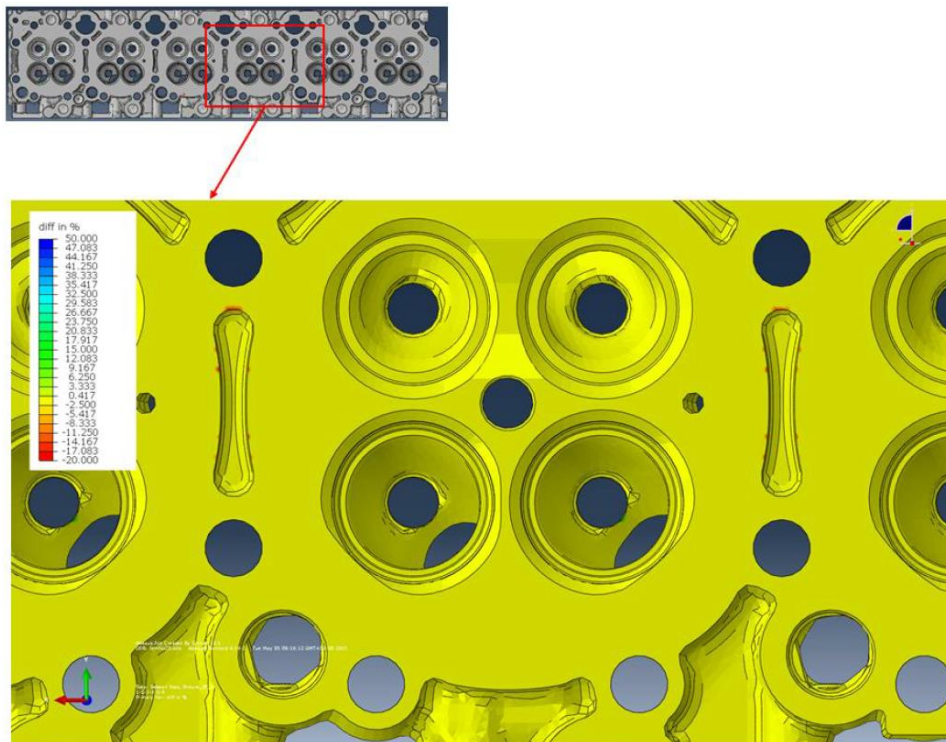


Рис. 2.29. Відносна різниця для циліндра 4.

Збільшене зображення нижньої частини головки циліндра з видом знизу в тестовому випадку 3. Однією з найбільших відмінностей від інших тестових випадків є жорсткіше навантаження між циліндрами на нижній стороні головки циліндра, де різниця сягає мінус 30%.

3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Удосконалення основи підсилювача тиску

Щоб використати наявну двофазну систему, необхідно вдосконалити основу для підсилювача. Цю основу, також відому як "блок підсилювача двох тисків", створено для розміщення двох підсилювачів тиску разом із подвійним набором датчиків тиску, золотникових клапанів та вхідних і вихідних масляних шлангів. Загальна вага нового блоку підсилювача тиску зі сталі складає 88 кг, і його конструкцію можна побачити на рисунку 3.1. Нова основа підсилювача має таку ж схему болтових з'єднань, як і головка циліндра, що дозволяє проводити тестування блоку двигуна без необхідності змінювати основу.

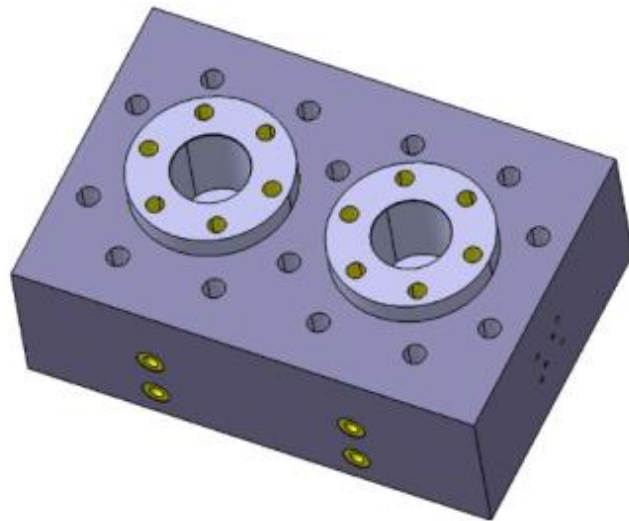


Рис. 3.1. Блок підсилювача подвійного тиску, що передбачає установку двох підсилювачів тиску, датчиків тиску, золотникових клапанів, а також вхідних і вихідних масляних шлангів.

Загальна маса деталі складає 88 кг. Схема болтових з'єднань співпадає з головкою циліндра, що дозволяє проводити тестування блоку двигуна.

Оскільки попередні платформи двигунів мають подібні параметри ходу поршня і діаметра циліндра, конструкція макетного поршня і його дистанційної вставки залишається незмінною. Це дозволяє використовувати взаємозамінні частини з попередніми тестовими пристроями, що може бути дуже важливо при необхідності швидкої заміни через знос або пошкодження.

Для створення повного тестового пристрою необхідне прикріплення головного підшипника. Оскільки прикріплення визначає тестовий випадок, було розроблено два варіанти прикріплень. Обидва варіанти мають шість макетних поршнів і дистанційних вставок. Це дозволяє тестувати різні частини головки циліндра без необхідності її знімання при зміні зони тестування. Використовуючи вже існуючу конструкцію макетного поршня і його дистанційної вставки, загальна вага нового пристрою зі сталі становить приблизно 500 кг, не враховуючи підсилювачів тиску.

3.2 Кріплення головки двигуна

Тип кріплення перший: Цей тип кріплення спроектовано для здійснення тестів категорії 2, особливо для випадків 9-13, з використанням блоку двійного підсилювача тиску. Воно також може використовуватися для тестів 14-17, якщо блок підсилювача тиску буде адаптований для трьох підсилювачів. Кожен тест досягається шляхом встановлення блоку підсилювача тиску на кріплення головного підшипника в позиції, яка пресує задані циліндри.

На рисунку 3.2 можна побачити повну конструкцію та місце встановлення, що дозволяє тестування третього та четвертого циліндрів у тестовому випадку 11. Тиск масла передається від підсилювачів тиску через блок двійного підсилювача тиску прямо через кріплення у масляні канали, макетний поршень, дистанційну проставку макетного поршня та створює тиск у камері згоряння так само, як у поточній конструкції. Основна відмінність полягає у двох підсилювачах тиску і можливості вибору циліндрів для тестування. Прямі масляні канали та їх повторювана структура, що дозволяє кілька місць для встановлення, представлені на рисунку 3.3. Вага цього типу кріплення головного підшипника, виготовленого зі сталі, становить 266 кг.

Другий тип кріплення. Це кріплення призначене для проведення тестів третьої категорії (тестовий випадок 2) з двома підсилювачами тиску. Воно також може бути використане для тесту 3, якщо проводиться одночасно, або для тестів 4 та 5, якщо використовується лише один підсилювач. Олійні канали в кріпленні з'єднують кожен другий циліндр з одним із підсилювачів у блоку

подвійного підсилювача. Циліндри 1, 3 і 5 з'єднані з одним підсилювачем, інші - з другим.

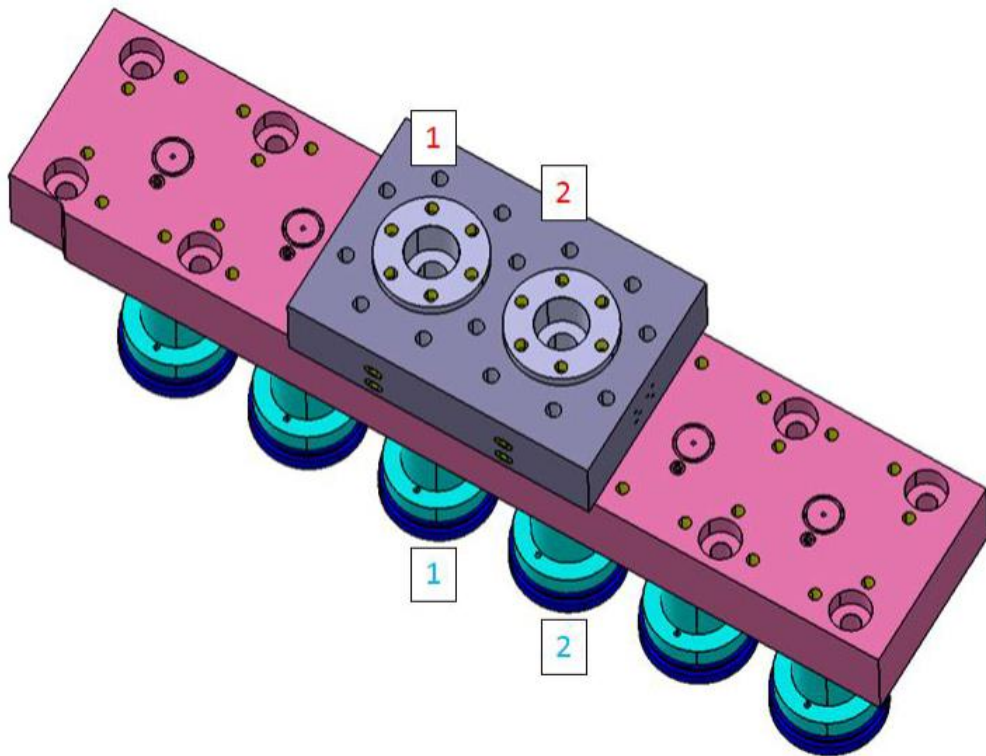


Рис. 3.2. Перше кріплення головного підшипника, зображене рожевим кольором із вагою 266 кг.

Це кріплення налаштоване для пресування третього та четвертого циліндрів у тестовому випадку 11. Пресування інших циліндрів можливе, якщо блок подвійного підсилювача тиску перемістити. Підсилювачі тиску розміщені на шестиотворних фланцях поруч із червоними маркуваннями. Підсилювач, що знаходиться на позначці "червоний один", пресує циліндр, відмічений синьою одиницею. Другий підсилювач з'єднаний із відповідним циліндром подібним чином.

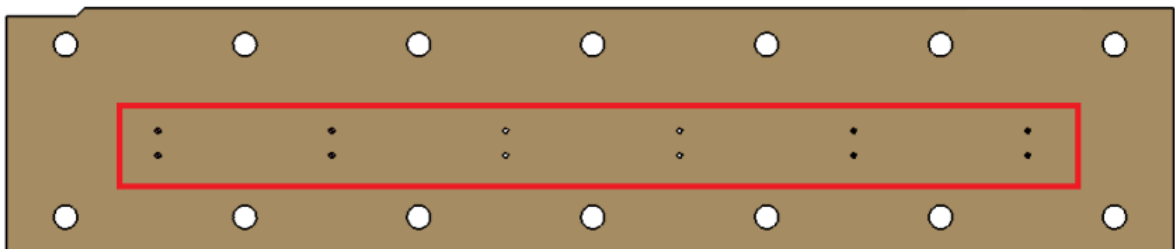


Рис. 3.3. Прямі олійні канали, що з'єднують підсилювачі тиску з циліндрами, виділені червоною рамкою.

Конфігурація олійних каналів повторюється, що дозволяє множинне розташування блоку підсилювачів тиску.

Олійні канали поділені на верхні та нижні рівні, що забезпечує чітке розділення двох фаз тестового випадку 2. Верхні канали показані на рисунку 3.4, а нижні - на рисунку 3.5. Тиск масла розподіляється від підсилювача до верхнього рівня і розходитьсь до іншого циліндра в тій же ланцюзі, створюючи тиск у камері згоряння. Після цього тиск масла піднімається через нижній рівень і збирається у двох каналах (один для кожної фази), де розміщені датчик тиску та запобіжний клапан. Місця для їхнього монтажу та повну конструкцію, встановлену у блок двигуна, можна побачити на рисунку 3.6.

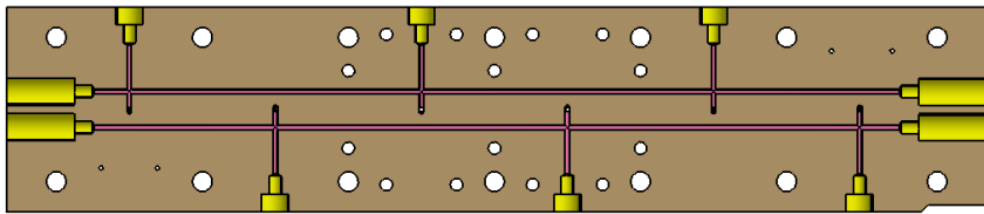


Рис. 3.4. Нижні олійні канали, які з'єднують циліндри з відповідними датчиками тиску та запобіжними клапанами для поповнення. Жовті елементи потрібно закупорити пробками для забезпечення герметичності конструкції.

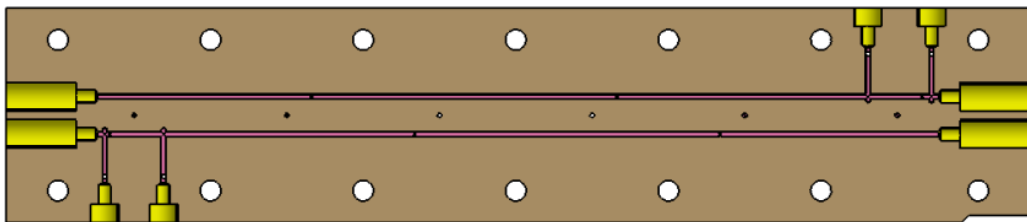


Рис. 3.5. Верхні олійні канали, що з'єднують підсилювачі тиску з відповідними циліндрами. Жовті елементи потрібно закупорити пробками, щоб забезпечити герметичність конструкції.

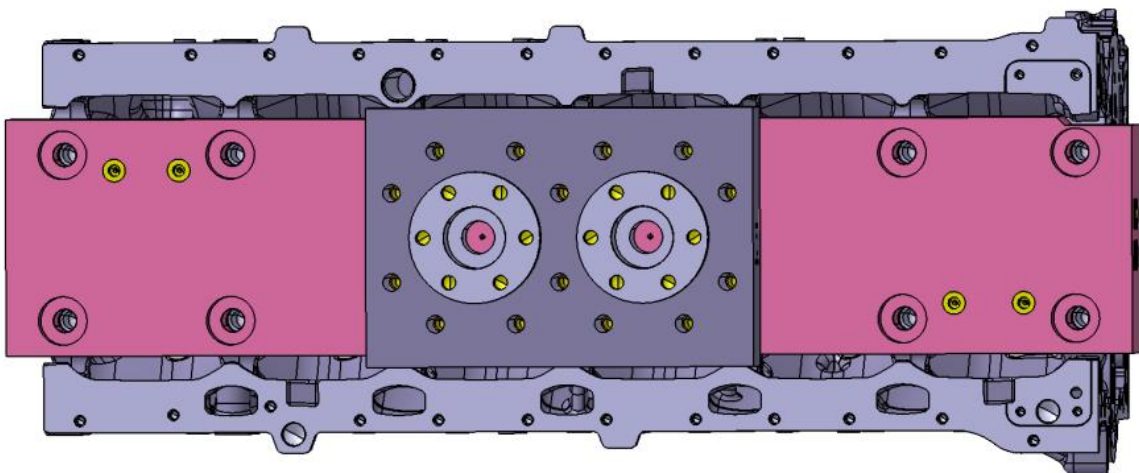


Рис. 3.6. Повна конструкція з другим типом кріплення головного підшипника, встановленого в відповідний блок двигуна.

Чотири жовті отвори, по два праворуч і ліворуч, призначені для датчиків тиску та запобіжних клапанів з шлангом. Ці отвори ведуть вниз і з'єднуються з каналами на нижньому рівні. Також зверніть увагу на виріз на кріпленні головного підшипника, який дозволяє монтаж у блок двигуна і є у обох типах кріплень головного підшипника.

Другий тип кріплення головного підшипника зображений на рисунку 3.7. Його вага становить 263 кг, але вона зростає, коли внутрішні олійні канали будуть закриті для забезпечення герметичності конструкції.

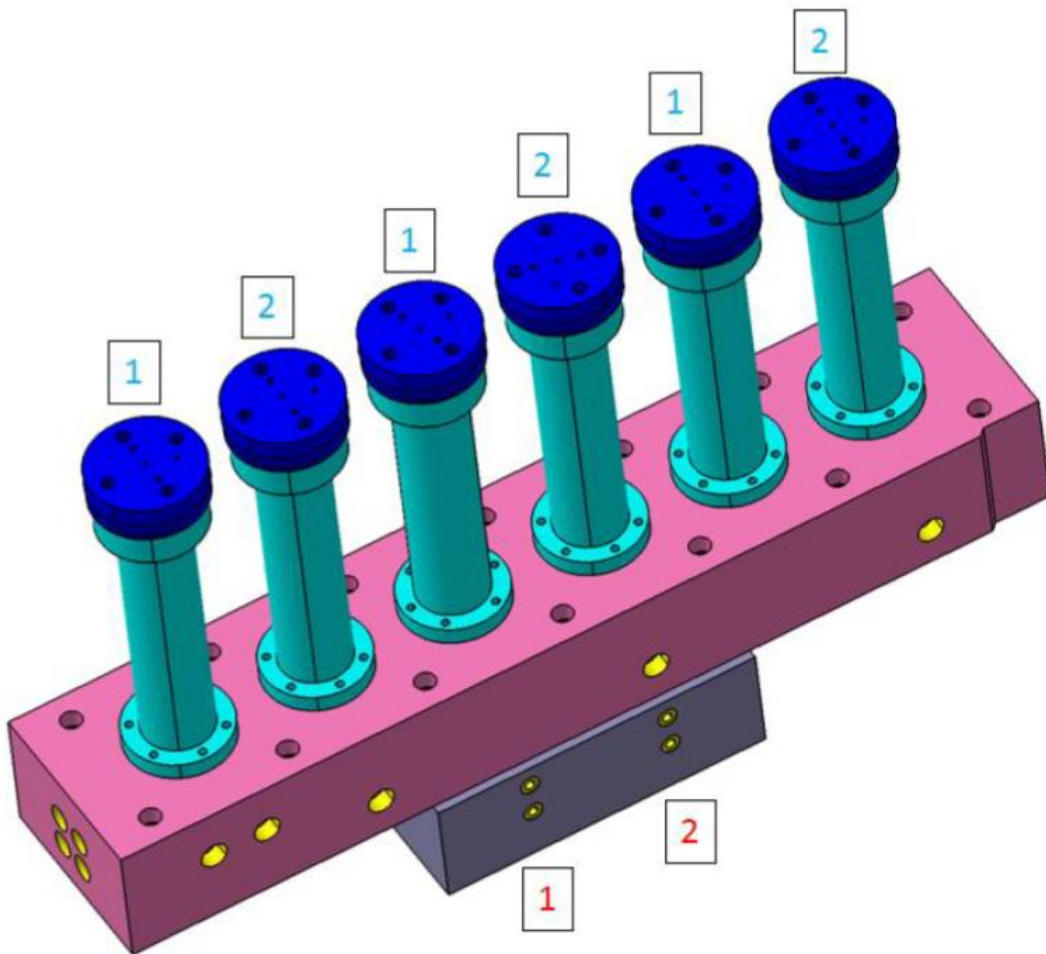


Рис. 3.7. Другий тип кріплення головного підшипника, зображений рожевим кольором із вагою 263 кг.

Два підсилювачі тиску встановлені нижче, біля червоних номерів. Підсилювач тиску, встановлений на позиції номер один, створює тиск у циліндрах із синім номером один. Циліндри із синім номером два з'єднані аналогічним чином.

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Шкідливі та небезпечні фактори при виконанні робіт з діагностування ДВЗ

Шкідливий виробничий фактор – чинник трудового процесу та виробничого середовища, вплив якого на організм людини за умови недотримання гігієнічних нормативів може стати причиною зниження працездатності та погіршення здоров'я аж до появи професійного захворювання. «Небезпечний виробничий фактор – чинник трудового процесу та виробничого середовища, вплив якого на організм людини в певних умовах може призвести до травми або іншого раптового погіршення здоров'я».

При виконанні робіт з діагностування ДВЗ можуть мати місце такі шкідливі та небезпечні фактори:

- наїзди автомобілів на працівників;
- падіння деталей, агрегатів, вузлів, інструменту;
- падіння обслуговуючого персоналу з висоти (з підніжок, естакад та ін.);
- знижена температура повітря у холодну пору року;
- недостатня освітленість;
- напруженість праці пов'язана з незручними позами виконання робіт, зокрема при виконанні робіт з оглядової ями;
- термічні фактори при виконанні робіт на двигуні прогрітому до номінального теплового режиму чи при пожежах у випадку займання ПММ;
- присутність у повітрі робочої зони продуктів згорання палива та інших летючих речовин, зокрема окису вуглецю, вуглеводні та ін.

Температура поверхонь устаткування та обладнання з яким контактує працівник не повинні перевищувати +45 °С.

При виконанні робіт з діагностування, запланованих в дипломній роботі, слід виділити такі об'єкти підвищеної небезпеки:

- об'єкт діагностування – двигун внутрішнього згорання, його вузли та агрегати;

- обладнання для проведення досліджень показників роботи ДВЗ, що працює від зовнішнього джерела напругою 220 В.

4.2 Організаційні та технічні заходи по забезпеченню захисту працівників від шкідливих та небезпечних факторів

Основними організаційними заходами є своєчасне проведення інструктажів, навчань та перевірки знань з охорони праці. За характером і часом проведення розрізняють вступний, первинний, повторний, позаплановий та цільовий інструктажі.

Далі представлені інструктажі, які проводять для студента, у випадку виконання дипломної роботи в лабораторії технічного діагностування: вступний (загальні питання перед початком роботи в лабораторії); первинний (перед виконанням нових видів роботи); повторний (при тривалості виконання робіт в лабораторії більше 6 місяців); позаплановий (проведення після літніх канікул, які триваліші за 60 днів).

Захист очей при виконанні робіт з діагностування повинен здійснюватися відповідно до [19], в залежності від характеру шкідливого фактору і особливостей технологічних операцій. Для захисту від пилу і дрібних твердих астинок при механічній обробці можна користуватися окулярами відкритого типу 02-76, 02-У76, 03-76 або закритими ЗП1-80, ЗН4-72, ЗН8-72, ЗП2-80, ЗПЗ-0, для захисту від парів і бризок агресивних рідин – герметичними захисними окулярами. Для захисту органів слуху, у випадках перевищення рівня шуму, необхідно застосовувати проти шумні вкладиші одноразового користування, заглушки проти шумні ВЦННІОТ-2, ВЦННІОТ-4 та ін.

4.3 Правила безпеки праці при роботі з обладнанням та машинами для проведення діагностування ДВЗ

Вимоги безпеки перед початком роботи. До проведення діагностування та технічного обслуговування агрегатів, допускаються особи, навчені за професією по ремонту транспортних засобів, водіїв автотранспортних засобів,

що пройшли медичний огляд, вступний і первинний інструктаж. Технічне обслуговування та діагностування автомобілів, агрегатів виконується відповідно до діючих положень про технічне обслуговування і ремонт автомобільного транспорту. Працівник (студент) повинен виконувати доручений вид роботи, що визначений викладачем. При переході з однієї роботи на іншу з використанням нового обладнання, працівник зобов'язаний ознайомитися з конструкцією, методами безпечної роботи й одержати конкретне завдання, розписатися в журналі видачі змінних завдань. Працівник зобов'язаний утримувати в чистоті і порядку робоче місце, деталі і вузли, не захаращувати проходи і проїзди. Робочий інструмент необхідно розмістити в зручному і безпечному для використання порядку. Необхідно перевірити робочий інструмент на справність та відповідність вимогам охорони праці.

Працівник забезпечується засобами індивідуального захисту відповідно до типових галузевих норм безкоштовної видачі спецодягу, взуття, запобіжних пристосувань, інструментом.

Вимоги безпеки під час роботи. При постановці автомобіля на діагностування чи обслуговування, його необхідно встановити на ручне гальмо, аглушити двигун, ввімкнути знижену передачу та підкласти під колеса не менш двох упорів щоб запобігти самовільному русі. При ремонті й обслуговуванні автомобілів на електромеханічному підйомнику на пульт керування вивісити табличку «Не включати – працюють люди». При обслуговуванні зафіксувати підйомник в робочому (піднятому) положенні запобіжними упорами (штангами). Злив мастила, охолоджуючої і гальмівної рідини необхідно виконувати в спеціальну тару. Місця розливу мастила, охолоджуючої рідини, гальмівної рідини необхідно засипати піском, тирсою, ретельно прибрати і протерти місце розливу. При виконанні робіт, що потребують із прокручуванням колінчатого валу, необхідно обов'язково впевнитись у виключенні запалювання, подачу палива (для дизелів) і установку важеля перемикачів передач у нейтральне положення. Розсувні ключі не повинні бути ослаблені в рухливих частинах. Для запобігання травмування рук довжина інструмента не повинна бути менш 150 мм. Користатися викрутками, леза яких

повинні бути відтягнуті і розплющені до товщини, необхідної для входження їх без зазору в проріз голівки гвинта чи шурупа.

Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях. У випадку аварійної ситуації необхідно негайно завершити роботу, та прийняти заходи для унеможливлення отримати травм, організувати охорону небезпечної зони.

Повідомити керівника робіт про те, що сталося. Якщо є потерпілі надати їм першу медичну допомогу; при необхідності викликати «Швидку допомогу».

При виникненні пожежі, проводити її гасіння наявними засобами пожежегасіння, при необхідності викликати пожежну частину. Виконувати вказівки керівника робіт по усуненню аварійної ситуації.

Вимоги безпеки після закінчення роботи. Після закінчення діагностування потрібно виконати наступні дії:

- після завершення роботи необхідно уважно прибрати робоче місце. Інструменти та пристрої слід ретельно протерти та акуратно розмістити на відведених для них місцях. Усі матеріали та витратні засоби необхідно перевірити на наявність залишків, що можуть бути повторно використані або мають бути викинуті згідно з правилами утилізації. Також важливо перевірити, чи всі кришки на контейнерах з рідинами щільно закриті, а інструменти вимкнені з мережі, щоб уникнути нещасних випадків. Останнім кроком є очищення поверхонь від пилу та бруду, забезпечення чистоти та порядку, що сприяє безпечній та ефективній роботі наступного разу.

- перевірити надійність встановлення автомобіля на підставках важливо перед початком будь-яких ремонтних робіт. Залишати автомобіль, піднятий домкратом не дозволяється, оскільки це може становити ризик для безпеки. Після підйому автомобіля домкратом, необхідно відразу ж застосувати надійні опорні стійки, розташовані у відповідних точках під шасі автомобіля. Перевірте, що підставки міцно стоять на рівній поверхні та правильно розподіляють вагу автомобіля. Важливо також переконатися, що підставки мають достатню вантажопідйомність для вашого типу автомобіля та знаходяться у відповідних місцях, передбачених виробником автомобіля, для уникнення пошкодження шасі чи кузова. Завжди слідкуйте за тим, щоб домкрат

і підставки були в надійному стані і не мали видимих пошкоджень або ознак зносу.

- повідомити керівника робіт про всі порушення та недоліки, які були виявлені під час роботи, є обов'язковим для забезпечення безпеки та якості виконаних робіт. Кожен виявлений недолік або порушення має бути детально задокументовано, включаючи опис проблеми, час її виявлення, та можливо, рекомендації щодо її усунення. Це допоможе виробити ефективні заходи щодо запобігання подібним інцидентам у майбутньому та підвищить загальний рівень безпеки на робочому місці. Крім того, важливо обговорити виявлені проблеми на регулярних зустрічах з безпеки, щоб всі учасники робочого процесу були повідомлені і могли прийняти необхідні заходи обережності.

- зняти спецодяг, вимити руки та обличчя теплою водою з милом. Мити руки мастилом, бензином, гасом не дозволяється, оскільки це може призвести до шкірних подразнень або інших здоров'язагрозливих умов. Після миття рук необхідно використовувати чистий рушник або одноразові серветки для їх висушування. Також важливо нанести зволожуючий крем для відновлення захисного бар'єру шкіри, особливо після використання засобів для чищення, які можуть висушувати шкіру. Ці прості заходи допоможуть захистити вашу шкіру від шкідливого впливу хімічних речовин і підтримати її здоров'я.

Забороняється: Приступати до роботи і технічного обслуговування без відмітки про профілактичний огляд, одержання завдання й інструктажу з охорони праці; Користуватися при виконанні робіт не справними ЗІЗ, устаткуванням, інструментом і пристосуваннями.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Бакалаврська робота, судячи з наданого змісту, охоплює різноманітні аспекти в галузі інженерії та технологій, зосереджуючись на діагностуванні та тестуванні двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ). Робота розділена на чотири основних розділи, кожен з яких детально розглядає ключові елементи дослідження та розробки в області машинобудування.

Загально-технічний розділ включає огляд предмету та постановку завдань, що підкреслює цілеспрямований підхід до вирішення поставлених завдань і визначення мети дослідження.

Технологічний розділ зосереджується на виборі технологічного обладнання, розробці технологічного процесу діагностики, включаючи гідроімпульсні тести, аналіз результатів випробувань і моделювання критичних компонентів, як-от головка блока циліндрів. Також включено розділ про оцінку коефіцієнтів надійності за допомогою програмного забезпечення FEMFAT, що є важливим для визначення міцності і довговічності компонентів.

Конструкторський розділ описує удосконалення конструкцій, зокрема основи підсилювача тиску та кріплення головки двигуна, що свідчить про практичне застосування теоретичних знань для вирішення специфічних інженерних проблем.

Розділ безпеки життєдіяльності підкреслює важливість забезпечення безпеки на робочому місці, організаційні та технічні заходи для захисту працівників, а також деталізує правила безпеки при роботі з обладнанням для діагностування ДВЗ. Цей розділ відіграє ключову роль у формуванні системного підходу до питань охорони праці.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. О.Л. Ляшук, Ю.І. Пиндус, М.Г. Левкович, Гупка А.Б., Хорошун Р.В. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра за освітнім рівнем «бакалавр галузі знань 27 «Транспорт» спеціальність 274 «Автомобільний транспорт» – Тернопіль: Видавництво ТНТУ, 2022. – 61 с.
2. Конспект лекцій з курсу «Технології обслуговування автотранспортних засобів». / Р.В. Хорошун, О.Л. Ляшук, Н.Т. Навроцька. – Тернопіль: Вид-во ТНТУ, 2021. – 194 с.
3. Ляшук О.Л. Конспект лекцій з дисципліни «Технічна експлуатація автомобілів» для студентів спеціальності 274 «Автомобільний транспорт» / О.Л. Ляшук, В.М.Клендій, Р.В.Хорошун. – Тернопіль: Вид. ТНТУ – 2018. – С. 302.
4. Конспект лекцій (частина I) з дисципліни «Транспортні засоби» для студентів усіх форм навчання першого рівня освіти за спеціальністю 274 «Автомобільний транспорт», 275 «Транспортні технології» галузі знань 27 «Транспорт» / О.Л. Ляшук, Т.Д.Навроцька., Р.Р. Заверуха., Л.М. Слободян., Р.В. Хорошун. – Тернопіль, ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. – 132 с.
5. Конспект лекцій (частина II) з дисципліни «Транспортні засоби» для студентів усіх форм навчання першого рівня освіти за спеціальністю 274 «Автомобільний транспорт», галузі знань 27 «Транспорт» / О.Л. Ляшук, Т.Д. Навроцька., Л.М. Слободян., Р.В. Хорошун. – Тернопіль, ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. – 184 с.
6. Левкович М.Г., Гупка А.Б., Сіправська М.Д Конспект лекцій з дисципліни «Відновлення деталей» для здобувачів освітнього рівня бакалавр за спеціальністю 274 «автомобільний транспорт».-Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. – Тернопіль.: ТНТУ, 2021. – 136 с.
7. Техніко-економічне обґрунтування інженерних рішень на СТО та АТП : Навчальний посібник / Укладачі : Гевко І.Б., Ляшук О.Л., Луциків І.В., Плекан У.М., Клендій В.М. - Тернопіль : Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. 276 с.
8. Кузьмінський Р.Д., Шарibuра А.О Технічний сервіс. Ремонт електрообладнання тракторів і автомобілів Львів 2017 – 376 с

9. Форнальчик Є. Ю., Качмар Р. Я. Основи технічного сервісу транспортних засобів - Львівська політехніка 2017, - 324 с.
10. Шапко В.Ф., Шапко С.В. Основи теорії та динаміки автомобільних двигунів : підручник. – Харків : Точка, 2016. – 232 с.
11. Шапко В.Ф. Автомобільні двигуни. Основи теорії та характеристики поршневих двигунів внутрішнього згорання: Навчальний посібник. - Кременчук: КНУ, 2011. - 194 с.
12. Коробочка О.М. Основи розрахунків, проектування і експлуатації технологічного обладнання для автомобільного транспорту: Навч. посібник / Коробочка О.М., Скорняков Е.С., Сасов О.О. – Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2007 – 252 с.
13. Кукурудзяк, Ю. Ю. Технічна експлуатація автомобілів. Організація технологічних процесів ТО і ПР навчальний посібник / Ю. Ю. Кукурудзяк, В. В. Біліченко. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 198 с.
14. Автомобілі. Теорія : навч. посіб. / В.П. Сахно, В.І. Сирота, В.М. Поляков, В. Г. Головань, О.В. Лисий; Військ. акад. - Одеса: Військ. акад., 2017. - 412 с.
15. Пилипець М. І. Правила заповнення основних форм технологічних документів : навч.-метод. посіб. / Уклад. Пилипець М. І., Ткаченко І. Г., Левкович М. Г., Васильків В. В., Радик Д. Л. Тернопіль : ТДТУ, 2009. 108 с.
16. Безпека життєдіяльності та основи охорони праці. Курс лекцій: Навчальний посібник для студентів вищих педагогічних навчальних закладів всіх спеціальностей за освітньо-кваліфікаційним рівнем "бакалавр" / А.І. Ткачук, О.В. Пуляк. – Перевидання, доповнене та перероблене. – Кропивницький: ПП "Центр оперативної поліграфії "Авангард". – 2017. – 184с.
17. Наказ МОЗ «Про затвердження Гігієнічної класифікації праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу» від 27.12.2001 N 528.
18. НПАОП 0.00-1.62-12. Правила охорони праці на автомобільному транспорті.