

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Удосконалення та розрахунок конструкції шатуна автомобіля
Dacia Logan MCV 2007 з дослідженням процесу профілювання бочкоподібних
овальних юбок поршнів

Виконав(ла): студент(ка) 6 курсу, групи МАМ-63
спеціальності 274

«Автомобільний транспорт»

(шифр і назва спеціальності)

Руслан САВІЦЬКИЙ
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник Андрій ГУПКА
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль Роман ХОРОШУН
(підпис) (прізвище та ініціали)

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

Рецензент
(підпис) (прізвище та ініціали)

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

Факультет Інженерії машин, споруд та технологій

(повна назва факультету)

Кафедра Автомобілів

(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Цьонь О.П.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

«11» листопада 2024 р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 274 Автомобільний транспорт

(шифр і назва спеціальності)

студенту Савіцькому Руслану Романовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Удосконалення та розрахунок конструкції шатуна автомобіля Dacia Logan MCV 2007 з дослідженням процесу профілювання бочкоподібних овальних юбок поршнів

Керівник роботи Гупка А.Б., к.т.н., доцент

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

Затверджені наказом ректора від «11» листопада 2024 року № 4/7-1080.

2. Термін подання студентом завершеної роботи 22 грудня 2024 року

3. Вихідні дані до роботи Базовий технологічний процес виготовлення шатуна легкового автомобіля Dacia Logan MCV 2007

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

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

4 Науково-дослідний розділ. 5 Охорона праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях

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

Результати наукових досліджень 2 листа – А1

Індикаторні діаграми 1 лист – А1

Розрахунок шатуна на згин 1 лист – А1

Цифрове моделювання шатуна 2 листа – А1

Моделювання розрахунку навантаження на шатун 2 листа – А1

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	к.т.н. доц. Ткаченко І.Г.		
Безпека в надзвичайних ситуаціях	ст. викл. Стручок В.С.		

7. Дата видачі завдання 11.11.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Загально-технічний розділ	16.11.2024	
2	Технологічний розділ	22.11.2024	
3	Конструкторський розділ	29.11.2024	
4	Науково-дослідний розділ	6.12.2024	
5	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	13.12.2024	
6	Оформлення графічної частини	19.12.2024	
7	Захист кваліфікаційної роботи магістра	23.12.2024	

Студент

(підпис)

Керівник роботи

(підпис)

Руслан САВЦЬКИЙ

(прізвище та ініціали)

Андрій ГУПКА

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Одним з найбільш відповідальних вузлів автомобіля являється кривошипно-шатунний механізм. Високі вимоги до окремих деталей даного вузла, щодо матеріалів їх виготовлення, параметрів точності та якості робочих поверхонь зумовлюють складність технологічного процесу їх виготовлення, та технологічного процесу складання вузла в цілому. Конструктивно складним являється шатун двигуна автомобіля.

Загально-технічний розділ містить інформацію, щодо конструктивних особливостей шатунів легкових автомобілів, умови їх експлуатації, перелік факторів, які впливають на появу дефектів окремих деталей та їх поверхонь. В меті даної магістерської роботи сформульовано основні напрямки, щодо вдосконалення конструкції даної деталі з відповідними розрахунками.

В технологічному розділі запропонована схема структурної послідовності технологічного процесу виготовлення поршня, а також технологічного процесу по відновленню пошкоджених поверхонь поршневого пальця. Обґрунтовано вибір відповідного обладнання та інструменту для виконання операцій технологічного процесу із розрахунком основних елементів режимів даних процесів.

В конструкторському розділі запропонована сучасна система для діагностування технічного стану шатуна, щодо явних та скритих його дефектів. Приведена характеристика стендового обладнання та описано принцип його роботи для випробування блоків циліндрів двигуна. Вибрана оптимальна конструкція шатуна по результатах силових розрахунків відносно параметрів міцності та жорсткості.

В науково-дослідному розділі приведено схеми та послідовність розрахунків теплових полів для юбок поршня при дії місцевих локальних навантажень. Проаналізовано можливі схеми контакту юбки поршня із робочою поверхнею гільзи циліндра та їх вплив на характер процесу зношування даних деталей. Розглянуто питання повітрообміну, електробезпеки та пожежної безпеки у виробничих приміщеннях під час виконання ремонтних робіт.

РЕФЕРАТ	1
ЗМІСТ	2
ВСТУП	4
1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ	6
1.1 Загальні відомості про конструкцію двигуна автомобіля Dacia Logan MCV 2007	6
1.2 Загальні положення при розробці конструкції шатуна двигуна автомобіля	8
1.3 Технічні вимоги при розробці конструкції шатуна	10
1.4 Несправності при експлуатації, ремонті та обслуговуванні шатунів	14
2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ	18
2.1 Розробка структурної послідовності технологічного процесу виготовлення деталей циліндро-поршневої групи	18
2.2 Технологічний процес відновлення поршневого пальця	27
2.3 Вибір установочних баз при виконанні технологічних операцій з відновлення поршневих пальців	30
2.4 Розрахунок та вибір режимів виконання технологічних операцій виготовлення шатуна	32
2.5 Нормування часу на виконання технологічних операцій виготовлення шатуна	34
3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	37
3.1 Аналіз параметрів для діагностування технічного стану шатуна	37
3.2 Стендове обладнання для випробування блоку циліндрів	38
3.3 Аналіз конструктивних особливостей шатуна	42
3.4 Розрахунок оптимізованої конструкції шатуна при автоматизованому проектуванні	46
3.5 Оптимізація конструкції шатуни. Розрахунок шатуна по параметрах міцності	50
4 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ	

4.1 Схеми та розрахунок температурних полів юбок поршня та локалізації місцевих навантажень	54
4.2 Аналіз схем контакту юбки поршня із робочою поверхнею гільзи циліндра	54
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	57
5.1 Метрологічні умови в робочій зоні	63
5.2 Організація повітрообміну в виробничих приміщеннях	63
5.3 Електробезпека і заземлення	63
5.4 Першочергових дій персоналу і посадових осіб підприємств, установ та організацій у разі загрози виникнення терористичних або диверсійних актів	65
5.5 При виявленні на об'єкті підозрілого предмета, схожого на вибуховий пристрій.	66
ВИСНОВКИ	67
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	70
	71

ВСТУП

На сучасному етапі розвитку автомобілебудування актуальною постала проблема по вдосконаленню конструктивних елементів двигунів легкових автомобілів та модернізації автомобіля в цілому. Вирішення даної проблеми, з точки зору її практичного значення зумовлено комплексом питань по підвищенню основних експлуатаційних характеристик двигунів, а саме надійності та довговічності, низької собівартості технологічних процесів виготовлення та ремонту, техніко-економічних та енергоефективних показників.

Серед основних факторів, які впливають на трибологічну надійність основних вузлів та агрегатів двигуна, за період його експлуатації, є значні коливання та вібрації, як окремих деталей, так і двигуна в цілому. Особливо дана проблема актуальна для шатунно-поршневої групи двигуна у випадку значних крутильних коливань при високій частоті обертання колінчастого вала, що може привести, як до поломок або значних пошкоджень самого колінчастого вала, а також деталей, які входять в конструкцію шатунно-поршневої групи.

Відносно автомобіля Dacia Logan MCV 2007, основними деталями, які входять в конструкцію шатунно-поршневої групи двигуна, що являє собою збірну конструкцію, входять: поршень із розміщеними на ньому двох компресійних та одного масло знімного кілець та шатуна. На етапах проектних та конструкторських робіт складаються робочі креслення деталей, які входять в конструкцію шатунно-поршневої групи із вказаними вимогами по параметрах точності та якості для всіх поверхонь. Розробляється компоновочне креслення, як шатунно-поршневої групи, так і двигуна автомобіля в цілому. До основних етапів виконання даних робіт входять: розробка цифрових моделей шатунно-поршневої групи в зборі та її окремих деталей; послідовність виконання технологічних операцій при виготовленні окремих деталей (технологічна карта) та інформація про основні характеристики оброблюваних поверхонь (маршрутно-операційна карта) та методи їх контролю.

На шатунно-поршневую групу двигуна діють доволі значні силові

навантаження під час впуску палива, як із сторони робочих газів, так і від дії сил інерції, що може призвести в період експлуатації двигуна до поломок окремих деталей кривошипно-шатунного механізму а також виходу з ладу самого двигуна автомобіля. Однією з найбільш відповідальних деталей шатунно-поршневої групи двигуна являється шатун, на який в процесі експлуатації двигуна діють значні навантаження зі сторони газів та інерційних сил. З метою забезпечення заданих параметрів експлуатаційної надійності та довговічності, ще на етапі проектування та конструювання шатуна, необхідно закласти високі параметри міцності, щодо матеріалу шатуна з метою протидії навантажень постійного та динамічного характеру.

Одним із ефективних заходів, з метою підвищення експлуатаційних показників шатунно-поршневої групи є оптимізація геометричних параметрів деталей, що є основою її конструкції. Дані заходи спрямовані на забезпечення більш рівномірного розподілу силових навантажень між окремими деталями, зменшення впливу вібрації та шуму, а також зниження маси шатунно-поршневої групи в цілому для покращення техніко-економічних показників.

Згідно поставленої мети в даній кваліфікаційній роботі запропоновано основні шляхи для оптимізації конструктивних елементів шатуна шатунно-поршневої групи двигуна автомобіля Dacia Logan MCV 2007 з використанням, як аналітичних, так і програмно-міцнісних розрахунків.

1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Загальні відомості про конструкцію двигуна автомобіля Dacia Logan MCV 2007

На автозаводі двигуни для автомобілів Dacia Logan MCV 2007 збираються в механозбірному цеху, що включає дільниці з виготовлення двигунів, шасі та коробок передач. В даний час виробництво фокусується на оновленому восьмиклапанному двигуні, який монтується на Dacia Logan MCV 2007. Цей чотирициліндровий рядний бензиновий двигун об'ємом 1,6 літра розроблено на базі попередньої восьмиклапанної моделі і має потужність 90 к.с. з максимальним крутним моментом 143 Н•м.

Серед основних змін, внесених у двигун, - оновлення системи газорозподільного механізму та колінчастого валу, тоді як блок циліндрів залишився без змін. Головка блоку циліндрів (ГБЦ) зазнала значних модернізацій, включаючи вдосконалення сорочки охолодження, інтеграцію нових впускних і випускних каналів та перероблену конструкцію камери згоряння. На двигун також було встановлено новий легший розподільчий вал, що зменшує вагу і має менші габарити кулачків та потилиць.

Що стосується впускних і випускних клапанів, їхні стрижні були зменшені в діаметрі на 5 мм, що сприяло покращенню коефіцієнтів наповнення та продування циліндрів і ефективнішому руху паливо-повітряної суміші. Зміни також торкнулися конструкції штовхачів клапанного механізму, де замість двох клапанних пружин і регулювальної шайби тепер використовується одна пружина, що оптимізує конструкцію.

Регулювання зазорів клапанів стало складнішим: раніше використовувалися регулювальні шайби та спеціальний набір щупів для вимірювання зазорів, а в новій моделі необхідно повністю замінювати штовхач. Поршні двигуна виготовлені з алюмінієвого сплаву та оснащені трьома кільцями: двома компресійними та одним маслоснімним. Нижнє маслоснімне кільце поршня стало трикомпонентним, що дозволило знизити кількість

викидів від мастила вдвічі. Також було збільшено довжину спідниці поршня та висоту його жарового поясу. Ці модифікації покращили характеристики паливно-повітряної суміші, ефективність відведення тепла від поршня, знизили витрату мастила та механічні втрати.

На силовій установці двигуна був встановлений дросельний патрубок з діаметром 52 мм, що на 7 мм менше. Додатково були модернізовані і встановлені такі компоненти двигуна, як свічки запалювання меншого діаметра, а також зменшено число противаг на колінчастому валу з восьми до чотирьох і зменшено розмір шатунних шийок з 47,8 до 43 мм.

Технічні характеристики двигуна включають об'єм двигуна 1596 см³, потужність 90 к.с., крутний момент 143 Н.м, ступінь стиснення 10,5, кількість циліндрів чотири з рядним розташуванням, діаметр циліндра 82 мм, хід поршня 75,6 мм, кількість клапанів на циліндр два, ремінний привід газорозподільного механізму, розподілене вприскування пального, поперечне розташування ДВЗ та екологічний клас Євро 5.

Конструктивні відмінності між двигунами 1.4 MPI та 1.6 MPI включають різну конструкцію клапанної кришки та вищу кришку ГБЦ зі зміщеним у ліву сторону патрубком вентиляції картера, ближче до захисної кришки газорозподільного механізму.



а



б

Рисунок 1.1 - Загальний вигляд двигунів:

а – двигун 1.4 MPI; б – двигун 1.6 MPI

Оновлений двигун пройшов суттєві модифікації, особливо у системі газорозподільного механізму, що дозволило підвищити його потужність до 90

к.с., тоді як зміни в циліндро-поршневій групі були менш значними. Завдяки використанню полегшених компонентів вдалося покращити загальні характеристики двигуна.

Шатунно-поршнева група, як один із найбільш навантажених механізмів двигуна, вимагає особливої уваги під час проектування. Необхідно точно розрахувати геометрію кожної деталі для забезпечення рівномірного розподілу навантаження та мінімізації маси. Окрім підвищення потужності, виробники також прагнуть знизити рівень шуму та вібрацій, які впливають на комфорт у салоні та загальне сприйняття автомобіля споживачем під час водіння.

1.2 Загальні положення при розробці конструкції шатуна двигуна автомобіля

Шатун є критичною складовою шатунно-поршневої групи двигуна внутрішнього згоряння, яка піддається інтенсивним навантаженням від тиску газів і сил інерції під час роботи двигуна. В процесі проектування шатуна необхідно забезпечити його достатню міцність для витримки постійних і змінних навантажень, які варіюються залежно від режимів роботи двигуна. Крім того, важливою є жорсткість шатуна для запобігання деформаціям, які можуть порушити правильну роботу підшипників шатуна. Також необхідно гарантувати стабільність розмірів і опір деформаціям, щоб забезпечити довговічність та надійність шатуна в умовах експлуатації. Вироби мають забезпечувати ізоляцію роз'ємних частин, щоб запобігти корозії та іншим пошкодженням на стикових поверхнях.

Шатуни традиційно виготовляють з вуглецевих сталей, зазвичай використовуючи Сталь 25, Сталь 30 або Сталь 35, і методом штампування. На рисунку 1.2 демонструється зовнішній вигляд стрижня шатуна з двотавровим перерізом. Верхні та нижні головки шатунів і кришки виготовляють методом лиття.

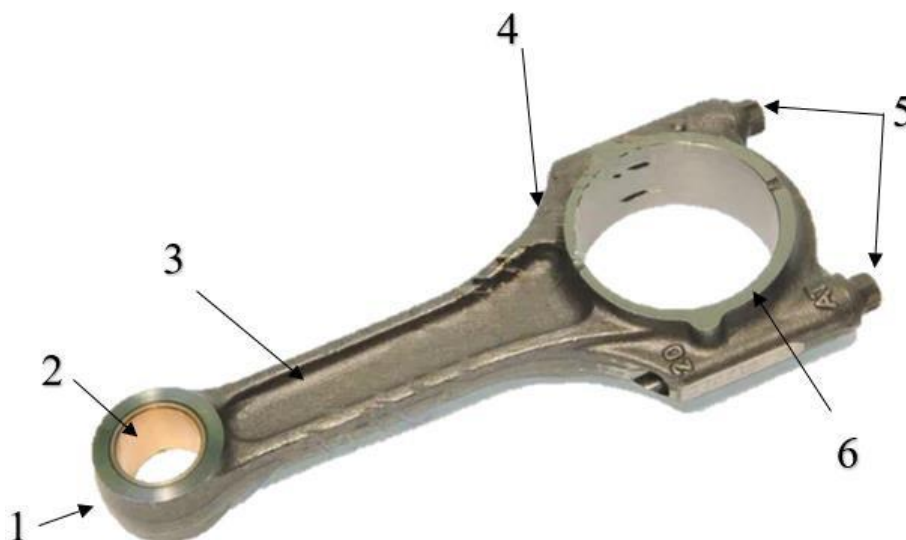


Рисунок 1.2 – Загальний вигляд шатуна в зборі

1 - поршнева головка, 2 - втулка, 3 - двотаврова форма перерізу, 4 – нижня головка шатуна, 5 - болти кріплення кришки шатуна, 6 - нижня кришка шатуна.

Верхня частина шатуна приєднується до поршня за допомогою поршневого пальця. Головка шатуна виконана як єдина нерозбірна конструкція. Існують два типи пальців: плаваючі та фіксовані. Плаваючий поршковий палець може обертатися як у головці шатуна, так і у поршневих бобишках, як показано на рисунку 1.3. Він фіксується від поздовжнього переміщення за допомогою спеціальних стопорних кілець, що встановлюються в проточки бобишок поршня. Між пальцем та внутрішньою поверхнею головки шатуна розміщується бронзова втулка, в яку палець повинен входити щільно і без зазорів. Це забезпечує відсутність люфту та коливань, а сам поршковий палець класифікується як плаваючий. Основна перевага такого типу пальця полягає у його здатності до рівномірного зношування по периметру.

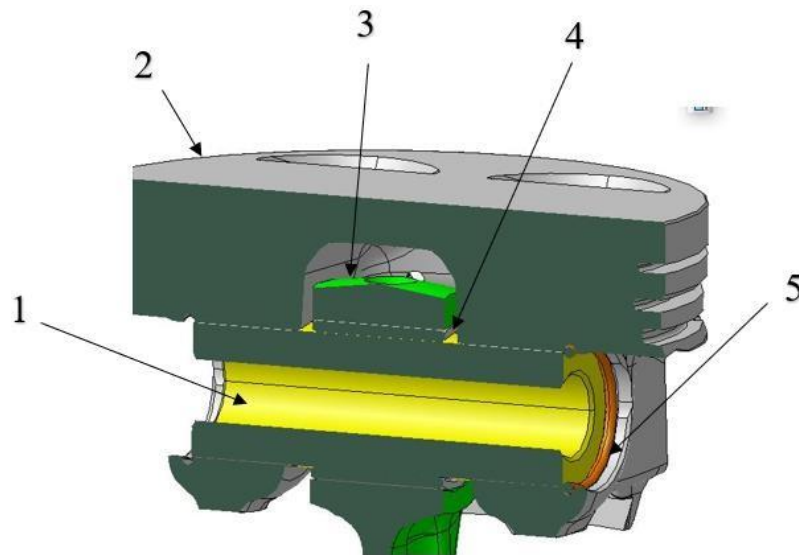


Рисунок 1.3 – Загальний вигляд поршневого пальця в розрізі

1 - поршковий палець, 2 - поршень, 3 - поршневая головка шатуна,
4 – втулка, 5 – стопорне кільце.

Фіксований палець характеризується тим, що він не обертається в одній зі з'єднаних частин — його монтування здійснюється із тугою посадкою або у верхній головці шатуна, або у отворах поршневих бобишок. Така туга посадка в одному з елементів забезпечує осьову фіксацію пальця. Зазвичай фіксація відбувається в верхній головці шатуна, дозволяючи пальцю обертатися тільки в отворах бобишок поршня. На двигунах внутрішнього згоряння, де використовується фіксований палець, бронзова втулка у верхній головці шатуна не встановлюється.

1.3 Технічні вимоги при розробці конструкції шатуна

При розробці нових або модернізації існуючих двигунів внутрішнього згоряння встановлюються наступні вимоги до експлуатації шатуна:

Технічні характеристики двигуна, включно з потужністю, крутним моментом, частотою обертань колінчастого валу, ходом поршня, діаметром поршня, довжиною шатуна, а також типом кріплення пальця;

Конструктивні параметри складових двигуна, які впливають на дизайн

шатуна та його експлуатаційні особливості.

На основі цих параметрів формуються технічні вимоги до самого шатуна, включаючи його форму, матеріал, довжину, масу, габаритно-приєднувальні розміри, конструкцію осьової фіксації та вимоги до обслуговування та терміну служби.

Шатуни, що використовуються в сучасних двигунах, часто мають двотавровий переріз, де внутрішня сторона орієнтована уздовж площини руху шатуна. Така форма забезпечує високу жорсткість при зниженні ваги.

Верхні головки шатунів виготовляють круглою формою і як замкнуте коло для плавного переходу від головки до стрижня, що зменшує концентрацію напруг і знижує аеродинамічний опір.

Верхні головки оснащуються спеціальним отвором для забезпечення змащення, а також бронзовою втулкою як підшипником ковзання. Нижні головки шатуна виконуються роз'ємними для зручності монтажу на колінчастому валу та закріплюються болтами, що також відповідають високим вимогам міцності і надійності.

Кривошипна головка шатуна виконана у роз'ємному варіанті з площиною роз'єму, орієнтованою перпендикулярно до осі шатуна. В цю головку монтується підшипник ковзання у вигляді вкладишів.

Таблиця 1.1 містить основні габаритні розміри шатуна для двигуна DACIA LOGAN MCV 2007.

Таблиця 1.1 - Габаритні розміри шатуна

Найменування розміру	Значення, мм
Діаметр кривошипної головки	46,8
Діаметр поршневої головки	28,8
Довжина шатуна	128
Розмір між осями гвинтів	56,8
Ширина стрижня	22,9
Ширина кривошипної головки	24,75
Діаметр отвору поршневого пальця	19

Існують два основних типи шатунів з кривошипними головками: одинарні та зчленовані. Одинарні шатуни є найпоширенішими і використовуються у більшості сучасних двигунів внутрішнього згоряння (рисунок 1.4). Ці шатуни зазвичай знаходяться в двигунах із рядним та V-подібним розташуванням циліндрів, де вони з'єднуються безпосередньо з колінчастим валом. Зчленовані шатуни поділяють на вільчасті, головні та причіпні

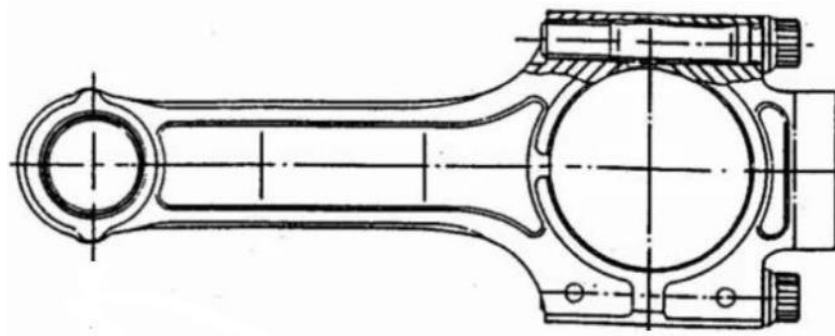


Рисунок 1.4 – Загальний вигляд одинарного шатуна

На рисунку 1.5 представлені різні конструкції зчленованих шатунів. Зчленовані шатуни зустрічаються рідше в легкових автомобілях через свою складність. Причіпний шатун з'єднується з головним шатуном через палець.

Кінематика поршня, з'єданого з головним шатуном, відрізняється від тієї, що у поршня з причіпним шатуном. Рухи кривошипно-шатунного механізму неоднакові, що призводить до різних траєкторій руху. Різні траєкторії викликають додаткові навантаження на стрижень головного шатуна, його поршень та стінки циліндра через сили, передані від причіпного шатуна через палець, що може призвести до згинання головного шатуна.

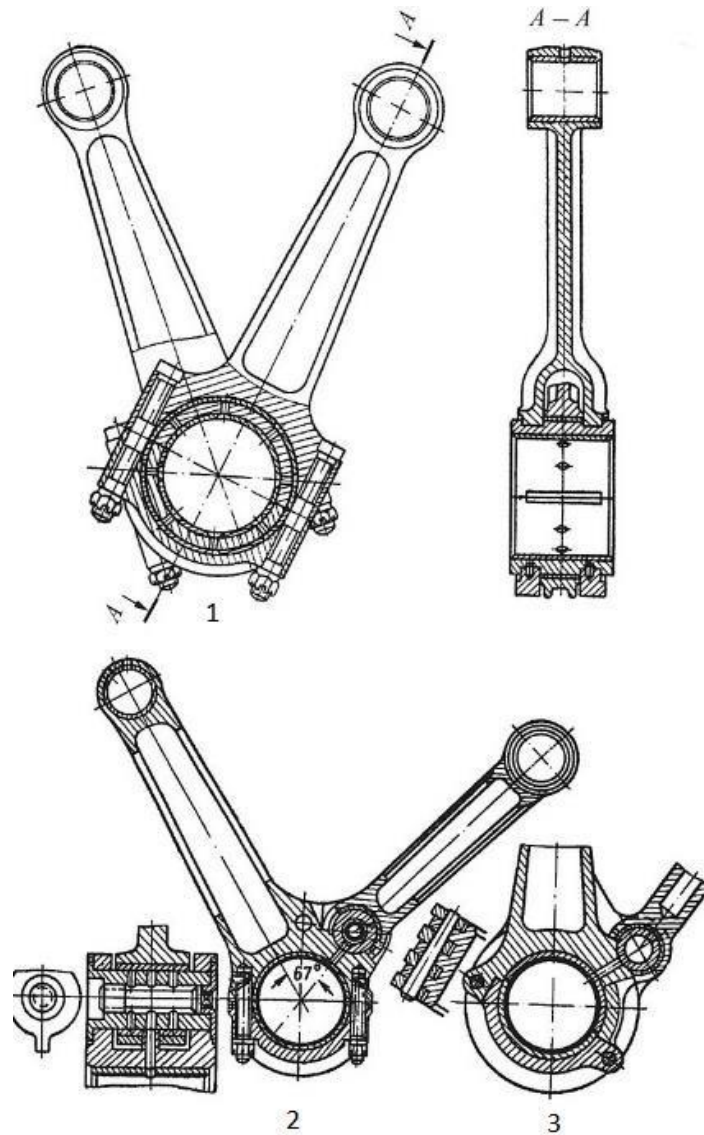


Рисунок 1.5 – Конструкції основних видів зчленованих шатунів

1 - вільчастий шатун, 2 - головний шатун, 3 - причіпний шатун.

Шатуни виготовляються із матеріалів, що задовольняють вимоги до втомної міцності (здатність матеріалу витримувати багаторазові цикли змінних навантажень без руйнування), ударної в'язкості (спроможність матеріалу абсорбувати механічну енергію під час деформації) та відносного подовження (зміна довжини виробу під час розтягування).

Довжина шатуна визначається відповідно до компоновання двигуна, включаючи колінчастий вал і поршень. Вибір довжини шатуна критичний, оскільки він впливає на механічні втрати двигуна; збільшення довжини зменшує тертя між поршнем та стінками циліндра. Маса шатуна є ключовим

параметром, оскільки впливає на надійність, довговічність і загальну ефективність двигуна внутрішнього згоряння.

1.4 Несправності при експлуатації, ремонті та обслуговуванні шатунів

Некоректна експлуатація автомобіля, така як попадання води в циліндри, використання паливно-мастильних матеріалів низької якості, а також затримки у проведенні регулярного технічного обслуговування, може спричинити деформацію та зношування деталей циліндро-поршневої групи.

Іншим фактором, що може призвести до поломки шатуна, є його неправильне розташування під час монтажу у блок циліндрів. Для правильної установки шатуно-поршневої групи, на деталях, як-от шатун, виконується позначення у вигляді кружка. Під час збору цієї групи важливо, щоб це позначення було спрямоване до передньої частини двигуна та вирівняно зі стрілкою на поршні.

Розташування позначок на шатуні показано на рисунку 1.6, а на рисунку 1.7 представлено поршень із вказівною стрілкою. Таблиця 1.2 містить основні несправності та можливі причини поломок шатуна.

Таблиця 1.2 - Несправності і причини поломки шатуна

Несправність	Причина
Знос поршневої головки шатуна	Низький рівень мастила в двигуні або недостатній тиск олії; Засмічені масляні канали або фільтр; Недостатня затяжка втулки;
Знос кривошипної головки шатуна	Недостатній рівень мастила; Забруднення масляного фільтра; Забруднення приймача масляного насоса. Ці фактори призводять до підвищеного зносу шатунних вкладишів і колінчастого валу, що може спричинити вібрації в нижній головці шатуна.

Згин стрижня шатуна	Гідроудар, внаслідок якого вода потрапляє в циліндри двигуна, спричиняє осьове стискання шатуна, що призводить до його сильної деформації; Значний пробіг автомобіля без своєчасного технічного обслуговування; Наявність сторонніх предметів у камері згоряння; Обрив ремня газорозподільного механізму.
Тріщини на шатуні	Ці фактори можуть викликати тріщини в шатуні, при чому деталь, як правило, не підлягає ремонту і має бути замінена на нову..

На кришці шатуна також наноситься кругла мітка, оскільки кришки відділяються від основної частини шатуна методом роз'єднання, а потім фіксуються за допомогою шатунних болтів. Це влаштування дозволяє встановлювати шатунні вкладиші для подальшої збірки нижньої головки на шийці колінчастого валу (рисунок 1.8). У разі деформації нижньої шатунної кришки, що може включати кручення, вигини та пошкодження, шатуни необхідно повністю замінити.

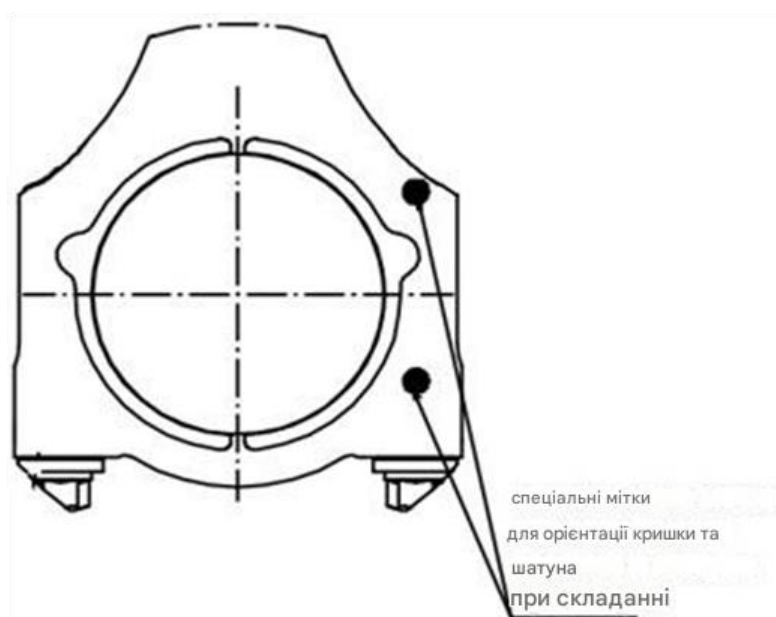


Рисунок 1.6 - Орієнтовні мітки на кришці шатуна



Рисунок 1.7 - Поршень зі стрілкою, яка вказує напрямок для установки

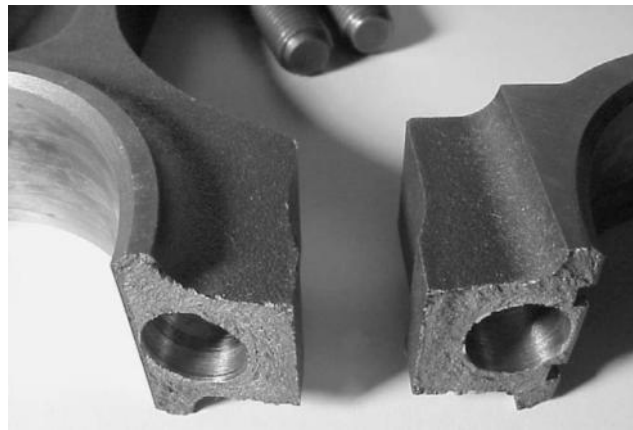


Рисунок 1.8 - Роз'єм нижньої головки шатуна і кришки

Усі проблеми шатунно-поршневої групи можна ідентифікувати за зовнішніми симптомами. Типові ознаки включають стукіт, шум, збільшення споживання моторного мастила, а іноді і виділення синього диму з вихлопної системи, що вказує на знос компонентів цієї групи. Стукіт у верхній частині двигуна часто сигналізує про знос поршневих пальців, який погіршується зі зростанням оборотів двигуна. При викручуванні свічки запалювання стукіт може зникнути. Глухий стукіт у середній частині блоку зазвичай свідчить про знос шатунних вкладишів. Забруднення маслоприймача та масляного фільтра також можуть викликати стуки та шуми у двигуні.

Шатуни зазвичай не підлягають ремонту чи відновленню, оскільки не можуть бути відновлені до первісного стану міцності та жорсткості після

деформації. У випадку будь-якої несправності необхідно замінити шатун на новий, забезпечивши, що запасні частини відповідають одному і тому ж коду (номеру деталі), що свідчить про сумісність із певною моделлю двигуна.

Монтаж та демонтаж шатунів і інших складових циліндро-поршневої групи має відбуватися відповідно до належних інструкцій з ремонту та обслуговування автомобілів. Забезпечення коректної установки цих компонентів та їх правильна експлуатація з регулярним технічним обслуговуванням забезпечать тривалу службу двигуна внутрішнього згоряння.

Варто зазначити значні зміни, які вплинули на більшість груп деталей нового двигуна DACIA LOGAN MCV 2007. Обговорено його технічні характеристики та удосконалення компонентів, що дозволили збільшити потужність та ресурс силового агрегату, а також зменшити шум двигуна.

Також показано, що під час експлуатації при високій частоті обертання колінчастого вала, крутильні коливання можуть спричинити поломку не тільки самого вала, а й компонентів шатунно-поршневої групи. Ця група силового агрегату витримує значні навантаження, які можуть призвести до поломки всього силового агрегату.

Загальні положення та технічні вимоги до конструкції шатуна детально розглянуті, як і особливості зчленованих шатунів. Вивчено їх переваги та недоліки, аналізовано основні типи несправностей шатунів та причини їх виникнення.

2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Розробка структурної послідовності технологічного процесу виготовлення деталей циліндро-поршневої групи

Шатун є ключовою складовою кривошипно-шатунного механізму двигуна, який передає сили від поршня до колінчастого валу і навпаки, залежно від режиму роботи двигуна. Основні компоненти шатуна включають: поршкову головку, яка з'єднується з поршнем через поршковий палець; стрижень шатуна; кривошипну головку, яка приєднується до шийки колінчастого валу. Комплект шатуна також може містити втулки, вкладиші, болти або шпильки з гайками, елементи кріплення вкладишів, шплінти та гайки. У процесі експлуатації двигуна шатун здійснює складні рухи, впродовж яких його впливають змінні за величиною і напрямком газові та інерційні сили, які можуть мати ударний характер. Для забезпечення належної міцності та жорсткості критично важливим є правильний вибір матеріалу і геометричної форми шатуна, а також зменшення його маси для мінімізації інерційних сил.

У зв'язку зі знакозмінним характером навантажень на шатун, матеріали для його виготовлення повинні характеризуватися високим опором до втоми. Шатуни для сучасних автомобільних двигунів традиційно виготовляють з високоякісних вуглецевих та легованих сталей, таких як 38А, 40, 40А, 45, 45Г2, та легованих сталей 18ХНМА, 18ХНВА, 40ХНМА для дизельних двигунів з наддувом. Для карбюраторних двигунів використовують шатуни з перлітного та ковкого чавуну з вмістом вуглецю до 0,85%. Для високооборотних двигунів перспективним варіантом є використання титанових сплавів. Шатуни формують штампуванням разом із стрижнем, а в залежності від типу кріплення поршневого пальця можуть бути виконані як цільні або розрізні з однією або двома бронзовими втулками. Інколи в поршкову головку вбудовують розпилювач для подачі охолоджуючого струменя мастила на днище поршня.

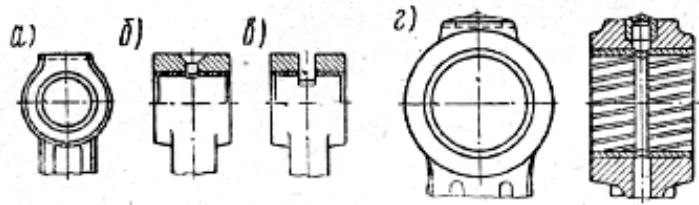


Рисунок 2.1 – Загальний вигляд поршневих головок шатуна

У зв'язку з високою температурою та інтенсивними ударними навантаженнями, що діють на поршневий палець у поршневій головці шатуна, виготовлення втулок здійснюється з високотвердих бронз, які ефективно протистоять втомним руйнуванням. У потужних двигунах часто застосовують втулки з алюмінієво-залізної бронзи БрАЖ9-4, а також із олов'яно-цинкових БрОЦ10-2 та олов'яно-фосфористих бронз. У деяких малопотужних двигунах замість втулки може бути встановлений голчастий підшипник.

У швидкохідних двигунах поршневий палець часто має систему примусового змащування через канал у стрижні шатуна, який веде від кривошипної головки. У випадках, коли змащення не є примусовим, передбачено отвір у стінці поршневої головки для мастила. Внутрішня поверхня бронзових втулок часто має гвинтоподібні канавки для кращого розподілу мастила.

Для оптимізації руху та зниження інерційних сил, поршневу головку шатуна рекомендується виготовляти компактнішою, що також сприяє зручності розміщення поршневого пальця в поршні.

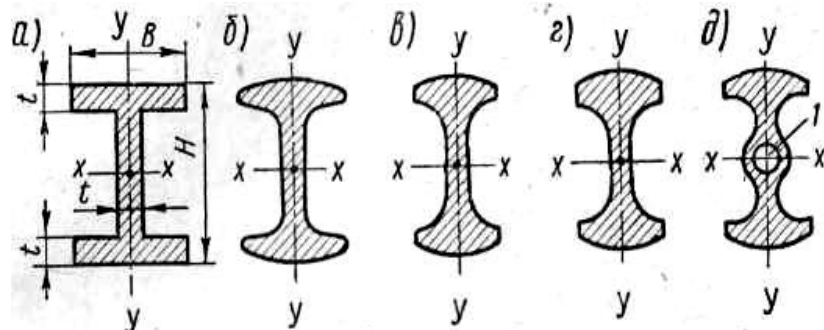


Рисунок. 2.2 – Січення стрижнів шатуна

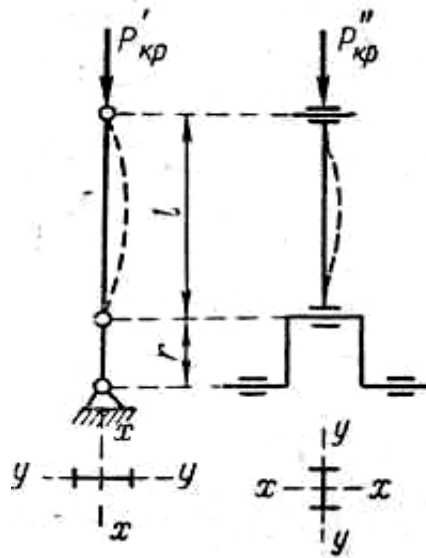


Рисунок 2.3 – Схема для визначення найвигіднішого перерізу стрижня шатуна

Для запобігання перекосу шатуна через подовження колінчастого валу та відхилення від осі циліндра, довжина поршневої головки шатуна робиться на 3 мм коротшою від відстані між бобишками поршня (див. рис. 2.3). Стрижні шатунів автомобільних двигунів, які зазвичай мають двотавровий переріз (див. рис. 2.2, а - г), забезпечують вищу жорсткість при порівнянних вазі та довжині стрижня.

В процесі експлуатації двигуна, деформація стрижня шатуна в площині його гойдання та в перпендикулярній до неї площині буде відрізнятися. Це пояснюється неоднаковим кріпленням кінців шатуна (див. рис. 2.4), через що шатун слабше протистоїть поздовжнім вигинам у площині гойдання.

Щоб забезпечити плавні переходи від стрижня до кривошипної головки шатуна і рівномірно розподілити напруги уздовж стрижня, площа його перерізу біля кривошипної головки збільшується (див. рис. 2.5). Також, для зменшення аеродинамічного опору під час руху, стрижень шатуна та кривошипна головка мають бути виконані в обтічній формі.

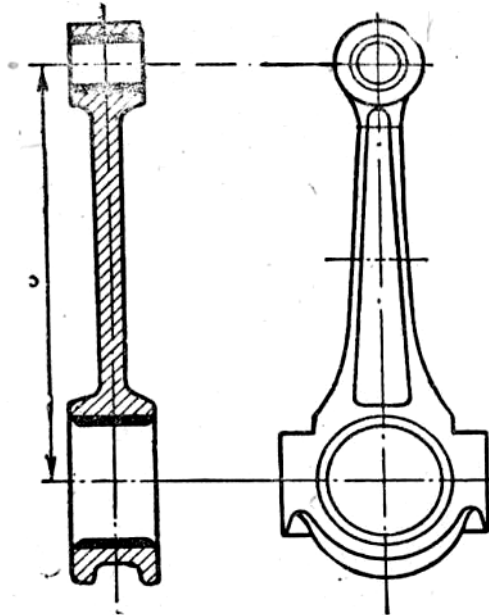


Рисунок 2.4 – Геометричні параметри для розрахунку шатуна

В більшості автомобільних двигунів конструкція кривошипної головки шатуна передбачає її виготовлення як роз'ємну, з площиною роз'єму, що розташована перпендикулярно до осі шатуна. Таке рішення може створювати проблеми під час монтажу шатуна через циліндр, оскільки це вимагає підняття циліндра вище, що суттєво ускладнює процес збірки двигуна.

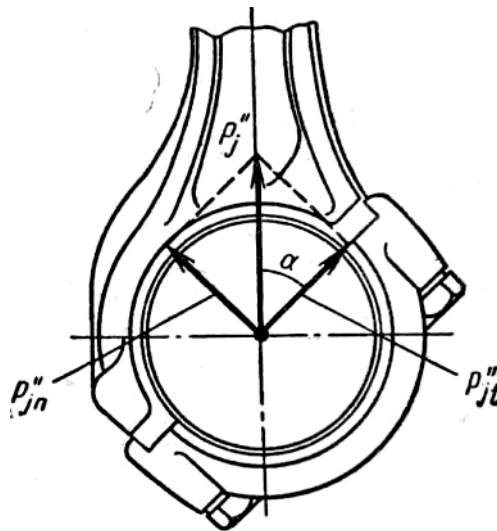


Рисунок 2.5 – Конструкція кривошипної головки шатуна з косим роз'ємом

У шатунних головках із косим роз'ємом шатунні болти не відчують розтяжних напружень, але піддаються дії зрізаючих сил. Для сприйняття цих сил у конструкції передбачені спеціальні замки. Кут роз'єму варіюється від 30 до 60 градусів, що дозволяє збільшити діаметр шатунної шийки до 0,80-0,85 мм. Кріплення кришки кривошипної головки шатуна зазвичай виконується за допомогою двох болтів, а у випадку з довгими шатунними шийками —

чотирьох. В деяких моделях двигунів для цього використовують шість шпильок.

Для підвищення жорсткості кришки кривошипних головок шатуни можуть мати одне або два ребра (як показано на рисунку 2.6 а та б). Фіксація кришок зазвичай забезпечується добре обробленими поясками шатунних болтів, як показано на рисунку 2.7. Інколи для цієї мети використовується ступінчастий роз'єм кривошипної головки шатуна (рис. 2.6, а).

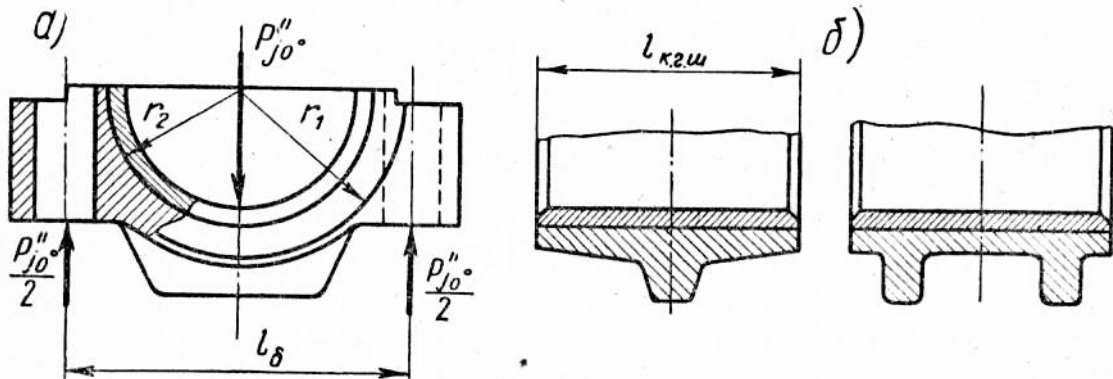


Рисунок 2.6 - Переріз нижніх кришок шатуна

В верхній частині кривошипної головки деяких автомобільних двигунів розміщений невеликий отвір А (див. рис. 2.7). Коли цей отвір вирівнюється з отвором у шатунній шийці, масло, що витікає, забезпечує змащення стінок циліндра, розподільного валу та штовхачів.

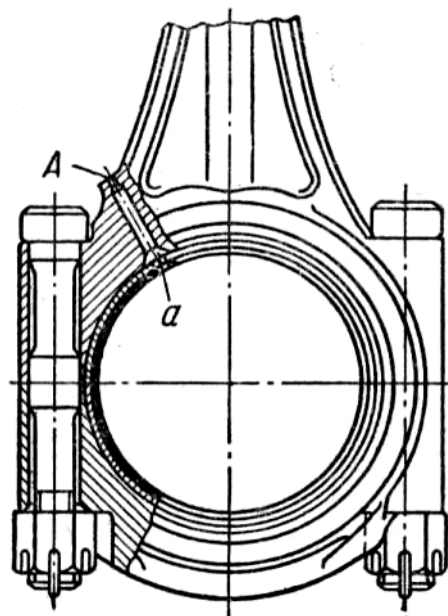


Рисунок 2.7 – Конструктивне оформлення кривошипної головки шатуна

У двигунах, де колінчастий вал має два коліна між опорами, часом використовуються несиметричні шатуни (див. рис. 2.7). Ці шатуни монтують таким чином, що коротша сторона кривошипної головки спрямована до найближчого корінного підшипника. Використання несиметричних шатунів дозволяє зменшити відстань між осями сусідніх циліндрів, що сприяє зниженню загальної довжини та ваги двигуна. Однак, така несиметричність призводить до нерівномірного (конусного) зношування шийок шатуна і вкладишів, скорочуючи їхній термін служби. Найінтенсивніше зношування відбувається під коротким плечем нижньої головки шатуна, де навантаження найвище. Недостатнє змащення може посилити конусне зношування навіть у двигунах з симетричними шатунами.

Для компенсації зсуву між віссю шатуна та серединою його кривошипної головки зміщення роблять трохи більше за 10—15% від довжини цієї головки. Кривошипні головки шатуна зазвичай виготовляють у парі з підшипниками ковзання, а підшипники кочення застосовують переважно в гоночних і деяких малолітражних автомобільних двигунах. При використанні підшипників кочення, нижня головка шатуна виконується суцільною, а колінчастий вал — роз'ємним.

Для мінімізації опору повітря під час руху шатуна і для вирівнювання напружень уздовж стрижня, площа його перерізу в напрямку до кривошипної головки збільшується.

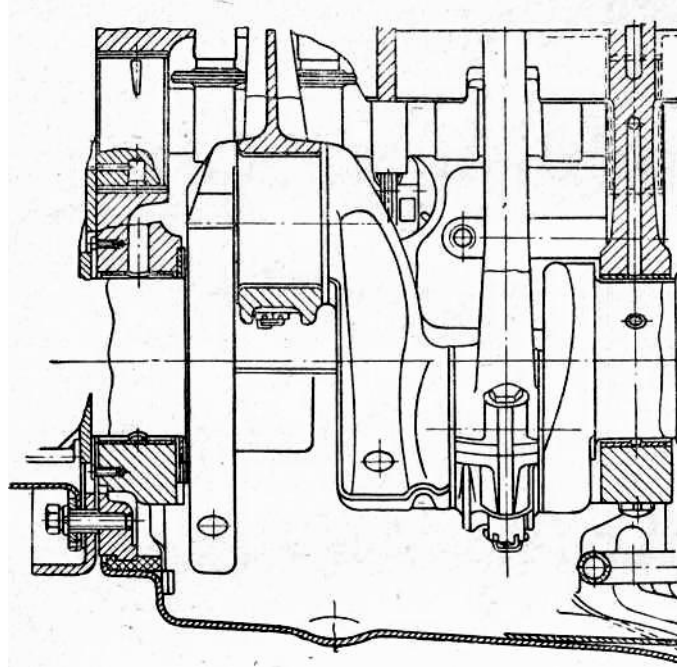


Рисунок 2.8 – Конструкція несиметричного шатуна двигуна автомобіля

У дизельних двигунах товщина тонкостінних вкладишів коливається від 0,94 до 2,2 мм, іноді досягаючи 3 мм. Зношені тонкостінні вкладиші не ремонтуються, а замінюються новими без додаткової обробки чи припасування. Це значно спрощує і прискорює процес заміни порівняно з шатунами, що потребують заливки металу на корпус. Тонкостінні вкладиші мають велику гнучкість, що дозволяє їм точно приймати потрібну форму при установці. Виробництво та монтаж вкладишів вимагають високої точності, оскільки навіть мінімальні нерівності або потрапляння твердих часток під вкладиш може спотворити його форму і погіршити відведення тепла від шийки колінчастого валу. Тонкостінні вкладиші виробляються масово і є недорогими, що знижує вартість виробництва двигуна та полегшує його ремонт.

При виробництві вкладишів на зовнішній поверхні згинають їхні фіксуючі вусики. Вони входять у спеціальні поглиблення в нижній головці шатуна, захищаючи вкладиші від провертання та зміщення вздовж осі. Тонкостінні вкладиші встановлюють у кривошипні головки шатуна з певним натягом. У двигунах з діаметром шатунної шийки від 50 до 100 мм натяг складає 0,03-0,04 мм, досягаючи 0,15 мм у двигунах з великими діаметрами. В залежності від діаметра шатунної шийки діаметральний зазор становить від

0,00124 до 0,0045, а осьовий зазор між площинами щік та торцями кривошипної головки — від 0,15 до 0,25 мм.

У деяких конструкціях автомобільних двигунів використовують товстостінні вкладиші, які виготовляються з бронзи або сталі. Сталеві вкладиші з антифрикційним покриттям вимагають детальної механічної обробки та індивідуальної підгонки для забезпечення правильного зіткнення з поверхнею підшипника, що важливо для ефективного відведення тепла від шийки колінчастого валу.

Для шатунних підшипників використовують високоолов'яністі бабіти на свинцевій основі та інші типи бабітів. Товщина антифрикційного шару становить від 0,25 до 0,70 мм, забезпечуючи міцність і надійність роботи вкладишів завдяки мінімальній усадці тонкого шару сплаву. Така конструкція усуває потребу в тонких металевих (регулювальних) прокладках між половинами кривошипної головки шатуна, які тепер рідко використовуються. Знос підшипника вимагає зміну розміщення прокладок для коригування зазору, проте у вкладишах із тонкими стінками регулювальні прокладки майже не використовуються.

Сучасні автомобільні двигуни часто мають тонкостінні вкладиші зі сплаву, що має товщину шару заливки від 0,2 до 0,4 мм. Для дизельних двигунів з високими навантаженнями використовують свинцеві бронзи з товщиною шару від 0,3 до 0,9 мм. Ці сплави мають меншу корозійну стійкість до органічних кислот в мастилі, недостатньо добре припрацьовуються під час обкатки та погано поглинають абразивні частинки. У деяких випадках свинцево-бронзові сплави покривають тонким (до 0,1 мм) шаром свинцю з оловом для покращення припрацювання, захисту мастила від окислення та підвищення стійкості до втомних навантажень. Це забезпечує збільшення допустимого питомого тиску на 20-30%.

Ефективність роботи тонкостінних дво- та тришарових вкладишів залежить від високої жорсткості колінчастого валу, його опор та кривошипних головок шатунів. Недостатня жорсткість цих компонентів може призвести до деформацій, які погіршують умови припрацювання підшипників і спричиняють

утворення задирів на їхніх робочих поверхнях, особливо в місцях концентрації напружень.

Здатність шатунних і корінних підшипників витримувати навантаження підвищується із зменшенням товщини антифрикційного шару. Покращення їх витривалості досягається через застосування конструктивних (зменшення довжини та збільшення діаметру шийок) та технологічних (підвищення якості обробки) заходів.

Нещодавно у автомобільних двигунах почали використовувати підшипники з антифрикційних алюмінієвих сплавів, що підвищує їх витривалість і дозволяє збільшувати питомий тиск. Алюмінієво-сурма-магнієвий сплав з твердістю НВ 30 зазнає лише незначного зниження твердості (на 7 - 10%) при нагріванні до робочих температур (70 - 90 °С).

Шатунні болти у чотиритактних двигунах піддаються дії сил інерції від мас поршня і шатуна, особливо при руху поршня біля мертвих точок. Ці болти також відчувають значні сили затяжки, які можуть бути у два-три рази більші за очікувані, що може спричинити плинність матеріалу та послаблення затяжки. Недостатня затяжка може призводити до ударних навантажень і наклепу на стиках кривошипної головки шатуна. Тому до матеріалу, конструкції та монтажу шатунних болтів висуваються високі вимоги. Болти виготовляють із легованих сталей з твердістю відпущення HRC 27-41. Гайки виготовляють з тих самих або вуглецевих сталей і піддають тій самій термічній обробці, що й болти, для забезпечення високої твердості граней та міцності різьби.

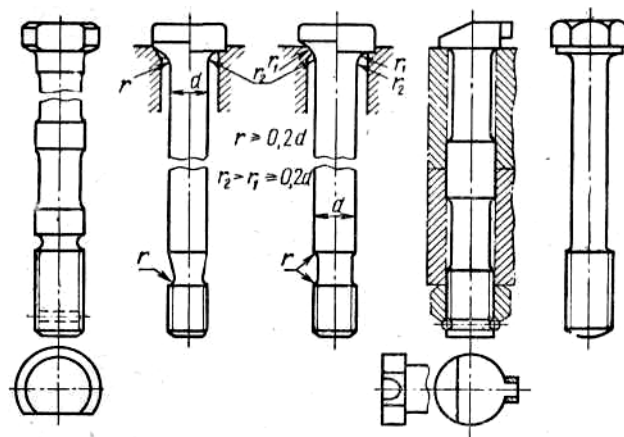


Рисунок 2.9 – Основні види конструкцій шатунних болтів

Для правильного монтажу, шатунні болти затягують за допомогою динамометричного ключа, який має шкалу для вимірювання ступеня затяжки з моментом затягування 54-12 кгс-м. Болти фіксуються шплінтуванням або використанням затискачів під гайки, краї яких відгинаються після затягування. У деяких конструкціях застосовують самоблокуючі гайки.

Для запобігання обертанню шатунних болтів під час затягування, їх виготовляють з фіксаційними виступами. В окремих двигунах шатунні болти формуються як єдине ціле з тілом шатуна. У конструкціях шатунних болтів, зображених на рисунку 2.9, не береться до уваги змінність згинальних напружень. Ці напруження можна знизити, збільшивши жорсткість основ головок кривошипів, зменшивши підтримуючі площі головок і гайок, а також використовуючи самовстановлюючі опорні поверхні для головок і гайок. Розглянуті конструкції шатунів застосовуються як у лінійних, так і в V-подібних двигунах, виробляються з основними і додатковими шатунами (рис. 2.10).

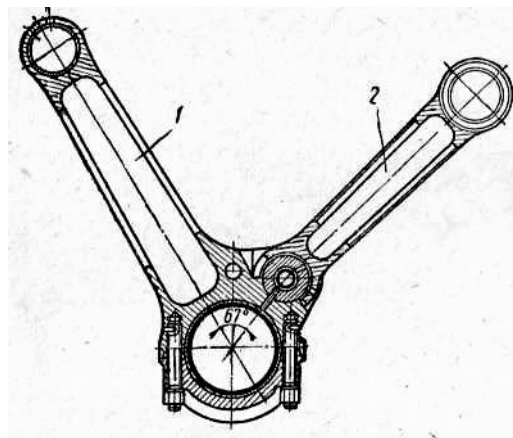


Рисунок 2.10 Головний та причіпний шатуни У-подібного двигуна

При встановленні в У-подібних двигунах звичайних шатунів (по два шатуни на шийку) лівий і правий блоки циліндрів повинні бути відносно один одного зміщені.

2.2 Технологічний процес відновлення поршневого пальця

Процедура ремонту поршневих пальців включає кілька ключових кроків. Спочатку компоненти передають в мийні установки, де вони очищуються за

допомогою спеціального розчинника, після чого вони переходять до стадії оцінки стану. Ті пальці, які вимагають ремонту, направляються на процес розтяжки, який включає підігрівання деталі в індукторі, за яким слідує їх охолодження у спеціалізованій ванні. Далі відбувається грубе полірування для видалення від 0,02 до 0,22 мм зовнішнього шару. Завершується цей етап повною перевіркою твердості матеріалу за допомогою твердомірів. Наступні етапи включають шліфування кінців, зафіксованих групами в касетах по 30-50 штук, з подальшим поліруванням та точним шліфуванням зовнішніх кромek до досягнення номінального діаметру. Завершується ремонт перевіркою якості, консервацією, упаковкою та відправкою готових деталей на склад продукції.

Таблиця 2.1 – Технологічний процес відновлення поршневих пальців.

№ операції	№ переходу	Назва операції	Виконання операції
005		Мийка	Видалити забруднення з поверхні шатуна
010		Контрольна	Перевірити стан шатуна і визначити його придатність до подальшої обробки
015	1	Термообробка	Нагріти шатун до температури 750–760°C
	2	Формування	Збільшити зовнішній діаметр отвору до 60,025–0,015 мм
020		Шліфування	Виконати шліфування отвору шатуна до розміру 59,980–0,010 мм
025	1	Шліфування торців	Обробити торцеві частини шатуна з витримкою розміру

			довжини 150–0,2 мм
	2	Полірування	Виконати полірування поверхонь торців
030	1	Формування фасок	Обробити зовнішні фаски на кутах шатуна
	2	Обробка внутрішніх фасок	Обробити внутрішні фаски отвору
035		Зенкерування	Виконати зенкерування отвору для зняття задирок
040		Полірування	Полірувати зовнішні фаски шатуна
045		Шліфування отвору	Вирівняти діаметр отвору до 59,970–0,005 мм
050		Точне шліфування	Довести розмір отвору до 59,950–0,003 мм
055		Фінішна доводка	Довести поверхню отвору до групових розмірів, наприклад: 59,945–0,002 мм
060		Очищення	Видалити залишки абразивів і пилу з поверхні шатуна за допомогою чистої марлі
065		Контроль і маркування	Перевірити розміри шатуна та нанести маркування відповідно до групових параметрів
070		Захисне	Нанести антикорозійне

		покриття	покриття на поверхню шатуна
075		Упаковка	Упакувати готові шатуни для зберігання або транспортування

2.3 Вибір установочних баз при виконанні технологічних операцій з відновлення поршневих пальців

Ефективне відновлення поршневих пальців залежить від адекватного вибору базових поверхонь для різних операцій. При гідротермічному розтягуванні основною виступає зовнішня циліндрична частина пальця. Шліфування зовнішніх циліндричних поверхонь засноване на внутрішніх отворах як опорних. Шліфування торців здійснюється з орієнтацією на протилежні кінцеві частини або на зовнішню циліндричну поверхню. Зовнішні фаски формуються з урахуванням зовнішніх та внутрішніх циліндричних поверхонь, в той час як внутрішні фаски виготовляються з основи на внутрішній циліндричній частині.

Ремонтні заводи використовують універсальне обладнання для виконання широкого спектру технологічних операцій, виходячи з економічних і технічних вимог. Обрані пристрої, ріжучі і вимірювальні інструменти дозволяють ефективно здійснювати всі потрібні операції. Детальний список обладнання, інструментів та матеріалів представлено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Перелік технологічного обладнання і інструменту для відновлення поршневих пальців двигуна.

№ операції	Назва операції	Назва обладнання, тип і технічна характеристика	Матеріали, інструменти та допоміжні засоби
001	Мийка	Мийна	10% розчин Лабомід-102'

		установка ОМ-6100	
005	Контрольна	Стіл ЗКП-1500	Скоба КР-70, калібр 80-8051
010	Термообробка	Піч для термообробки ТП-520	Захисний газ: аргон, підігрів до 780°C
020	Шліфування	Шліфувальний верстат	Коло шліфувальне 24А 50ПМ
030	Полірування	Полірувальний верстат PL-450	Полірувальний матеріал 3М 200Р
040	Формування фасок	Верстат з ЧПК F-400	Різальний інструмент КФ-15
050	Зенкерування	Установка для зенкерування ZN-700	Зенкер HSS M20
060	Контроль точності	Контрольно-вимірний стенд ТС-300	Мікрометр МК-25
070	Маркування	Стіл з маркувальною установкою МУ-500	Штамп, фарба ТМ-102
080	Консервація	Ванна для консервації VC-700	Консервуючий розчин КП-202
090	Пакування	Стіл для пакування РК-100	Папір з восковим покриттям

2.4 Розрахунок та вибір режимів виконання технологічних операцій виготовлення шатуна

Операція 005. Очищення.

До мийної машини ОМ-6200 завантажують 5 контейнерів, у кожному з яких знаходиться по 120 поршневих пальців. Для очищення рекомендується використовувати 12% розчин "Лабомід-102", нагрітий до температури 70–80°C. Процес очищення триває 25 хвилин.

Операція 010. Перевірка на дефекти.

Дефектація деталей проводиться з використанням спеціалізованих контрольно-вимірювальних інструментів для точного виявлення пошкоджень. Аналіз здійснюється відповідно технологічної карти оцінки дефектів, до повного виявлення всіх недоліків у деталі.

Операція 015. Гідротермічне розширення.

Поршневий палець поміщають в індуктор, де його нагрівають до температури 810–830°C. Час нагріву приймається рівним 45 секунд. Після нагрівання палець переміщують у спеціальне пристосування для розширення та охолодження, яке виконується протягом 20 секунд.

Операція 020. Шліфування.

Для шліфування деталей використовується припуск розміром 0,03–0,25 мм, що забезпечує досягнення необхідного параметра точності поверхні

$$h = \frac{D - d}{2};$$

Для розрахунків параметрів обробки шатуна приймаємо:

- D – початковий діаметр оброблюваної поверхні, мм;
- d – кінцевий діаметр оброблюваної поверхні, мм.

При чорновому шліфуванні товщина зняття матеріалу встановлюється в межах 0,03–0,05 мм.

Величину поперечної подачі шліфувального круга обчислюємо за формулою:

$$t = S = 0,04 \text{ мм.}$$

Кількість проходів визначаємо за формулою:

$$N = (D - d) / t$$

Колову швидкість різання обираємо з довідникової таблиці:

$$V = 16 \text{ м/хв.}$$

Частоту обертів деталі визначаємо за формулою:

$$n = (1000 \times V) / (\pi \times D)$$

Приймаємо: $n = 1600 \text{ об/хв.}$

Швидкість різання уточнюємо відповідно до прийнятої частоти обертання деталі за формулою: $V = (\pi \times D \times n) / 1000$,

Розрахована швидкість становить 16,2 м/сек.

Частота обертання шліфувального круга, відповідно до технічних характеристик верстата, становить 1400 об/хв.

Розрахунок параметрів для інших операцій шліфування циліндричних поверхонь виконується аналогічним чином, а результати заносяться в таблицю 2.3.

Таблиця 2.3 – Режими виконання технологічних операцій зовнішнього круглого шліфування.

Операція	Діаметр		Припуск на шліфування h , мм	Поперечна подача t , мм	Число проходів, i	Частота обертання шліфувального круга, n_k , об/хв	Швидкість різання V , мм/хв		Частота обертання деталі, n , об/хв	
	Початковий D , мм	Кінцевий d , мм					вихідна	уточнена	Розрахункова	прийнята
020	45,100	45,035	0,0325	0,0300	1	1300	14	21	98,7	150
045	45,035	45,020	0,0075	0,0075	1	1337	14	21	98,9	150
050	45,020	45,010	0,0050	0,0050	1	1337	14	21	98,9	150
055	45,010	45,000	0,0050	0,0050	1	1920	14	21	98	150

Операція 025 Шліфувальна.

Припуск на шліфування торців поршневого пальця, визначаємо за формулою:

$$h = \frac{L-l}{2} = \frac{95,8-95}{2} = 0,04 \text{ мм},$$

де L та l – відповідно початкова та кінцева довжина поршневого пальця, мм.

Для розрахунків параметрів обробки шатуна приймаємо:

D – початковий діаметр оброблюваної поверхні, мм;

d – кінцевий діаметр оброблюваної поверхні, мм.

При чорновому шліфуванні товщина зняття матеріалу встановлюється в межах 0,03–0,05 мм.

Кількість проходів визначаємо за формулою:

$$N = (D - d) / t$$

Кутову швидкість різання обираємо з довідникової таблиці:

$$V = 16 \text{ м/хв.}$$

Частоту обертів деталі визначаємо за формулою:

$$n = (1000 \times V) / (\pi \times D)$$

Приймаємо: n = 1600 об/хв.

Швидкість різання уточнюємо відповідно до прийнятої частоти обертання деталі за формулою:

$$V_{\text{—}} = (\pi \times D \times n) / 1000,$$

Розрахована швидкість становить 16,2 м/сек.

Частота обертання шліфувального круга, відповідно до технічних характеристик верстата, становить 1400 об/хв.

2.5 Нормування часу на виконання технологічних операцій виготовлення шатуна

Операція 005. Мийна.

Загальний час визначаємо за формулою

$$T_o = \frac{t_m}{n_{um}} = \frac{30}{1556} = 0,019 \text{ хв},$$

де t_m – час на миття партії деталей, $t_m=30$ хв;

$n_{шт}$ – кількість деталей в партії, знаходимо за формулою

$$n_{um} = \frac{N \cdot a}{F} = \frac{100000 \cdot 4}{257} = 1556 \text{ деталей},$$

N – програма випуску - річна деталей, шт;

a – кількість днів, на які потрібно мати запас, $a=4$ дні;

F – кількість робочих днів протягом року.

За таблицею 2.4 вибираємо загальний допоміжний час:

$$T_d = 1,1 \text{ хв.}$$

Додатковий час визначаємо за формулою

$$T_{доd} = \frac{T_{оп} \cdot k}{100} = \frac{1,119 \cdot 2}{100} = 0,023 \text{ хв}$$

де k – коефіцієнт додаткового часу до базового, визначають за таблицею, $k=2\%$;

$T_б$ – базовий час, визначаємо за формулою

$$T_б = T_{оп} + T_{доd} = 0,019 + 1,1 = 1,119 \text{ хв.}$$

Базовий час на виконання операції визначаємо за формулою

$$T_n = T_{п} + T_{оп} + T_{доd} + \frac{T_{пз}}{n_{um}} = 0,019 + 1,119 + 0,023 + \frac{9}{1556} = 1,16 \text{ хв.}$$

де $T_{пз}$ – підготовчо-заклучний час, згідно з таблицею, $T_{пз}=9$ хв.

Операція 010. Дефектації

Норми часу, відповідно нормативів на виготовлення одного шатуна приймаємо рівними 8,68 год.

Операція 015. Роздавання гідротермічним методом.

Головний час беремо згідно базового методу гідротермічного методу - 58 секунд

$$T_{оп} = 0,65 \text{ хв},$$

Значення додаткового часу на відновлення приймаємо за таблицею

$$T_{доd} = 0,2 \text{ хв.}$$

Визначаємо додатковий час

$$T_{\text{доо}} = \frac{T_{\text{оп}} \cdot \kappa}{100} = \frac{1,17 \cdot 4}{100} = 0,046 \text{ хв},$$

де $T_{\text{оп}} = T_0 + T_{\text{доо}} = 0,97 + 0,2 = 1,17 \text{ хв};$

Значення підготовчо-заключного часу визначаємо з таблиці

$$T_{\text{пз}} = 12 \text{ хв};$$

Знаходимо норму часу

$$T_{\text{н}} = T_0 + T_{\text{д}} + T_{\text{доо}} + \frac{T_{\text{пз}}}{n_{\text{шт}}} = 1,17 + 0,2 + 0,046 + \frac{12}{4669} = 1,42 \text{ хв};$$

На інші операції приймаємо норми часу згідно з нормативами та заносимо в таблицю 2.4.

Таблиця 2.4 – Норми часу на виконання технологічних операцій.

№ операції	Найменування операції	T_0	$T_{\text{д}}$	$T_{\text{оп}}$	$T_{\text{доо}}$	$T_{\text{пз}}$	$T_{\text{н}}$
1	2	3	4	5	6	7	8
005	Мийна	0,064	1,1	1,164	0,023	9	1,16
010	Дефектувальна						1,68
015	Гідротермічне	0,97	0,2	1,17	0,046	12	1,42
020	Шліфувальна	0,13	0,704	0,834	0,075	17	0,91
025	Шліфувальна	0,044	0,069	0,113	0,01	7	0,12
030	Шліфувальна	0,16	0,42	0,58	0,052	7	0,63
035	Зенкерувальна	0,07	0,4	0,47	0,042	4	0,51
040	Полірувальна	0,16	0,52	0,68	0,061	7	0,74
045	Шліфувальна	0,2	0,706	0,906	0,082	17	0,99
050	Шліфувальна	0,2	0,706	0,906	0,082	17	0,99
055	Доводочна	0,096	0,403	0,499	0,045	7	0,55
060	Обтиральна	0,006	0,01	0,07	0,006	4	0,08
065	Контрольно-маркувальна						0,25
070	Консервувальна						0,4
075	Пакувальна						0,4
Всього		2,042	5,238	7,334	0,523	108	10,83

3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Аналіз параметрів для діагностування технічного стану шатуна

Для аналізу міцності шатуна зі структурної сталі використовувались дані тиску в циліндрах двигуна DACIA LOGAN MCV 2007, отримані під час діагностики. Виконано побудову індикаторної діаграми, яка узагальнює 100 робочих циклів кожного з циліндрів.

Діагностування двигуна полягає в вимірюванні тиску в циліндрах на спеціально обладнаних стендах, де застосовуються датчики тиску та інші прилади для визначення показників споживання палива і повітря. Така діагностика важлива не тільки для визначення стану двигуна в лабораторних умовах, але і для виявлення проблем під час експлуатації, що можуть проявлятися через зниження потужності чи некоректну роботу циліндрів.

Індикаторна діаграма відображає залежність максимального тиску в циліндрах від режиму роботи двигуна, дозволяючи аналізувати динаміку тиску газів та ефективність роботи двигуна. Індикатори, які використовуються для цього, можуть бути електричними, механічними або пневмоелектричними, кожен з яких має свої особливості для збору та аналізу даних.

Електричні індикатори здатні вимірювати швидкозмінні параметри, такі як тиск і температура, допомагаючи визначати резонансні режими вібрації деталей двигуна. Вони оснащені датчиками, які перетворюють фізичні величини в електричні сигнали, що подаються на осцилограф у вигляді ліній, що зображують зміни сигналів.

Механічні індикатори широко використовуються для діагностики поршневих двигунів з низькою частотою обертання колінчастого валу. Важливим компонентом механічних індикаторів є поршнева пара, яка приймає газ під тиском з циліндрів. Потім, під впливом тиску, в індикаторі створюється рух, який передається на барабан з папером, формуючи замкнуту криву на папері, що відображає зміни тиску і об'єму в циліндрі у вигляді індикаторної діаграми.

Пневмоелектричні індикатори також застосовують для діагностики, і вони включають в себе датчики та записувальний механізм. При цьому тиск у системі знижується постійно, а реєстрація даних відбувається за допомогою механізму, який переміщується завдяки пружині та реєструє дані на папір.

Індикаторний папір на барабані з'єднаний із колінчастим валом, що дозволяє фіксувати кут повороту валу під час роботи двигуна. Це допомагає записати індикаторні діаграми за кілька сотень циклів роботи двигуна, де кожен цикл представлений однією точкою на діаграмі.

Індикаторні діаграми можуть бути кількох видів: нормальні, які аналізують загальну ефективність роботи двигуна; зміщені, для аналізу паливної системи; гребінки для аналізу тиску в кінці стиснення; та стиснення, для визначення тиску наприкінці такту стиснення.

Зміщені індикаторні діаграми використовуються для аналізу процесу згоряння, оцінки роботи паливного насоса високого тиску та форсунок, а також для перевірки точності налаштування кутів випередження подачі палива. Цей вид діаграм найчастіше застосовують для комплексної оцінки ефективності роботи паливної системи.

Діаграми типу "гребінка" застосовуються для визначення тиску в циліндрах наприкінці такту стиснення, що фіксується при вимкненій подачі палива, а також для оцінки максимального тиску, що виникає під час згоряння.

Діаграми стиснення надають інформацію про тиск у циліндрах двигуна внутрішнього згоряння на завершення такту стиснення, що дозволяє оцінити стан і працездатність циліндро-поршневої групи.

3.2 Стендове обладнання для випробування блоку циліндрів

Для розрахунку на міцність шатуна необхідно знати величину тиску в циліндрах двигуна. Тиск в циліндрах отримували в спеціальному випробувальному боксі (рисунок 3.1) на певних режимах роботи двигуна: 1000, 1500, 2000, 2500, 3000, 3500, 3700, 3800, 4000, 4500, 5000, 5500, 5900, 6000 об/хв.

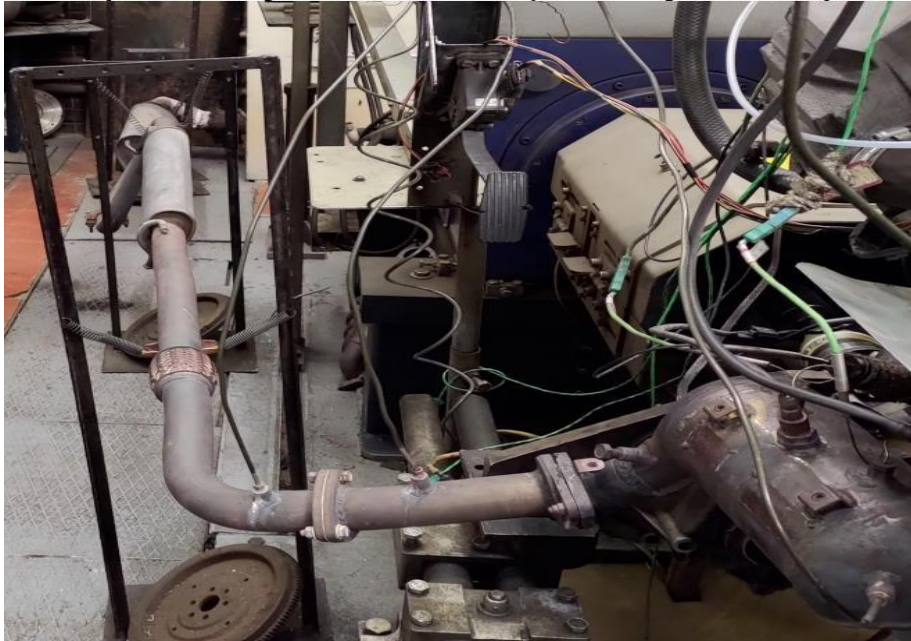


Рисунок 3.1 - Випробовувальний бокс

Для реєстрації значень тиску в гніздо для свічки запалювання вставляють спеціальну свічку, яка містить в собі датчик. На рисунку 3.2 показано загальний вигляд свічки запалювання з датчиком.

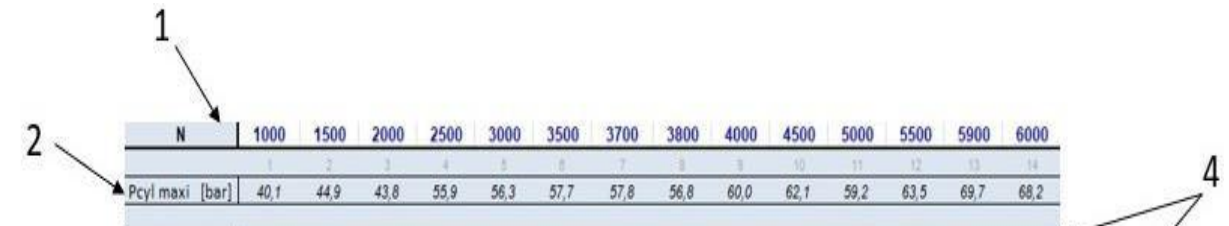


Рисунок 3.2 - Свічка запалювання з датчиком

Від свічки запалювання до спеціального блоку управління підключається провід, через який передаються сигнали від датчика. Блок управління обробляє

ці сигнали та передає їх на комп'ютер, де за допомогою спеціального програмного забезпечення вони перетворюються на графіки.

Під час роботи двигуна автомобіля на одному режимі протягом 5 хвилин програма автоматично збільшує частоту обертання, і для кожного режиму будується окрема діаграма. У процесі діагностики двигуна були зафіксовані значення тиску в циліндрах, які внесені до розрахункової програми (рисунк 3.3).



N	1000	1500	2000	2500	3000	3500	3700	3800	4000	4500	5000	5500	5900	6000
Pcyl maxi [bar]	40,1	44,9	43,8	55,9	56,3	57,7	57,8	56,8	60,0	62,1	59,2	63,5	69,7	68,2
Angle [°]	Pcyl [bar]													
-360	0,979	0,944	0,947	0,972	0,997	0,907	1,03	0,982	0,8	1,057	1,232	1,293	1,215	1,242
-359	0,968	0,951	0,94	0,964	0,992	0,894	1,032	0,973	0,779	1,029	1,219	1,282	1,203	1,236
-358	0,957	0,952	0,933	0,955	0,985	0,882	1,035	0,97	0,764	1,001	1,198	1,273	1,189	1,223
-357	0,943	0,951	0,927	0,95	0,975	0,872	1,039	0,964	0,753	0,969	1,178	1,262	1,183	1,21
-356	0,936	0,949	0,92	0,95	0,967	0,859	1,039	0,961	0,742	0,932	1,152	1,245	1,166	1,193
-355	0,928	0,944	0,91	0,946	0,957	0,85	1,037	0,956	0,734	0,891	1,121	1,227	1,151	1,177
-354	0,926	0,933	0,905	0,941	0,945	0,84	1,037	0,948	0,726	0,849	1,09	1,208	1,13	1,155
-353	0,923	0,925	0,898	0,935	0,936	0,827	1,033	0,943	0,723	0,81	1,055	1,183	1,112	1,14
-352	0,924	0,914	0,89	0,93	0,922	0,819	1,026	0,937	0,723	0,772	1,017	1,157	1,088	1,111
-351	0,92	0,902	0,885	0,927	0,911	0,808	1,017	0,933	0,722	0,736	0,986	1,13	1,072	1,088
-350	0,916	0,894	0,882	0,922	0,899	0,8	1,01	0,929	0,721	0,709	0,943	1,097	1,043	1,06
-349	0,914	0,887	0,873	0,915	0,889	0,79	1	0,924	0,721	0,684	0,908	1,067	1,014	1,033
-348	0,912	0,883	0,871	0,905	0,878	0,783	0,994	0,924	0,721	0,667	0,871	1,035	0,99	1,008
-347	0,914	0,882	0,869	0,902	0,867	0,773	0,988	0,921	0,717	0,653	0,834	1,003	0,959	0,971
-346	0,91	0,881	0,872	0,896	0,858	0,767	0,982	0,92	0,714	0,642	0,798	0,97	0,935	0,942
-345	0,907	0,883	0,873	0,89	0,846	0,756	0,973	0,919	0,717	0,633	0,764	0,942	0,904	0,915
-344	0,901	0,883	0,872	0,884	0,841	0,752	0,97	0,911	0,717	0,624	0,733	0,915	0,878	0,882
-343	0,903	0,879	0,874	0,88	0,833	0,74	0,961	0,907	0,72	0,618	0,709	0,886	0,857	0,858
-342	0,9	0,88	0,871	0,876	0,825	0,734	0,958	0,904	0,721	0,608	0,689	0,863	0,835	0,825
-341	0,9	0,877	0,872	0,867	0,819	0,728	0,95	0,902	0,719	0,6	0,667	0,842	0,809	0,804
-340	0,901	0,873	0,868	0,858	0,813	0,725	0,946	0,9	0,717	0,589	0,65	0,818	0,79	0,785
-339	0,905	0,87	0,861	0,856	0,804	0,72	0,936	0,899	0,723	0,585	0,632	0,8	0,767	0,766
-338	0,911	0,87	0,85	0,851	0,799	0,716	0,928	0,897	0,726	0,578	0,617	0,779	0,75	0,742
-337	0,914	0,868	0,835	0,848	0,79	0,711	0,924	0,895	0,727	0,57	0,606	0,76	0,728	0,729
-336	0,919	0,863	0,823	0,845	0,788	0,71	0,915	0,894	0,731	0,564	0,59	0,745	0,712	0,704
-335	0,919	0,862	0,809	0,841	0,776	0,709	0,914	0,89	0,736	0,558	0,575	0,727	0,7	0,681
-334	0,921	0,854	0,804	0,837	0,764	0,702	0,909	0,889	0,739	0,55	0,562	0,714	0,691	0,672
-333	0,923	0,85	0,795	0,835	0,761	0,7	0,898	0,885	0,736	0,55	0,551	0,698	0,663	0,66
-332	0,925	0,843	0,789	0,832	0,753	0,698	0,9	0,882	0,737	0,545	0,532	0,686	0,651	0,642
-331	0,926	0,836	0,79	0,823	0,744	0,695	0,889	0,88	0,728	0,539	0,528	0,675	0,636	0,607
-330	0,929	0,832	0,788	0,817	0,737	0,707	0,876	0,863	0,733	0,539	0,514	0,662	0,607	0,601

Рисунок 3.3 - Значення тиску в циліндрах в залежності від кута повороту колінчастого валу

1 – частота обертання двигуна; 2 – максимальний тиск у циліндрі за певної частоти обертання двигуна; 3 – кут повороту колінчастого валу; 4 – значення тиску в циліндрах для конкретного кута повороту колінчастого валу.

Під час випробувань встановлено, що максимальний тиск у циліндрах становить 69,7 бар при роботі двигуна на частоті 5900 об/хв.

Ці дані отримані шляхом усереднення 100 індикаторних діаграм для кожного циліндра двигуна, після чого обрано максимальне значення з усіх зафіксованих.

Індикаторна діаграма, сформована під час діагностування, наведена на рисунку 3.4.

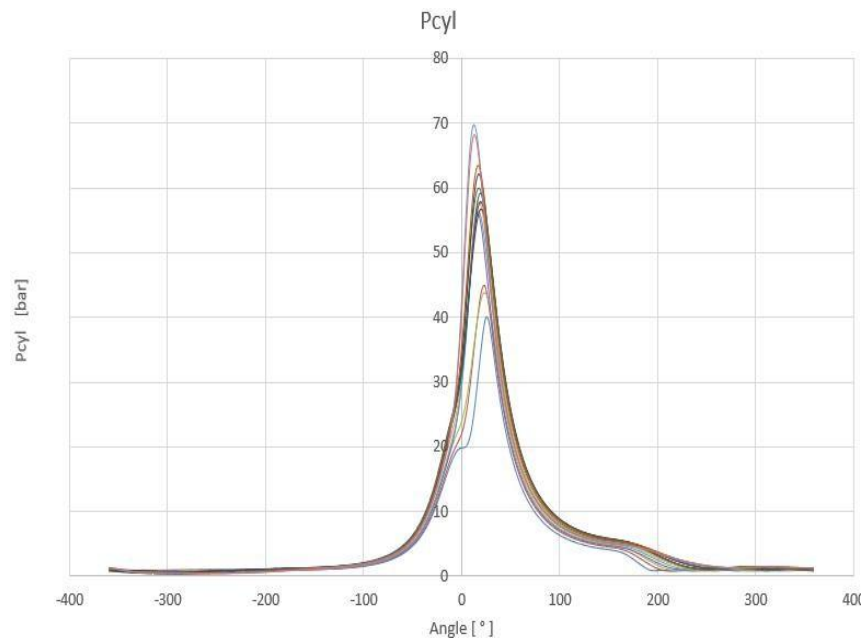


Рисунок 3.4 - Індикаторна діаграма

На рисунку 3.5 представлено графік, який відповідає максимальному тиску камери згоряння.

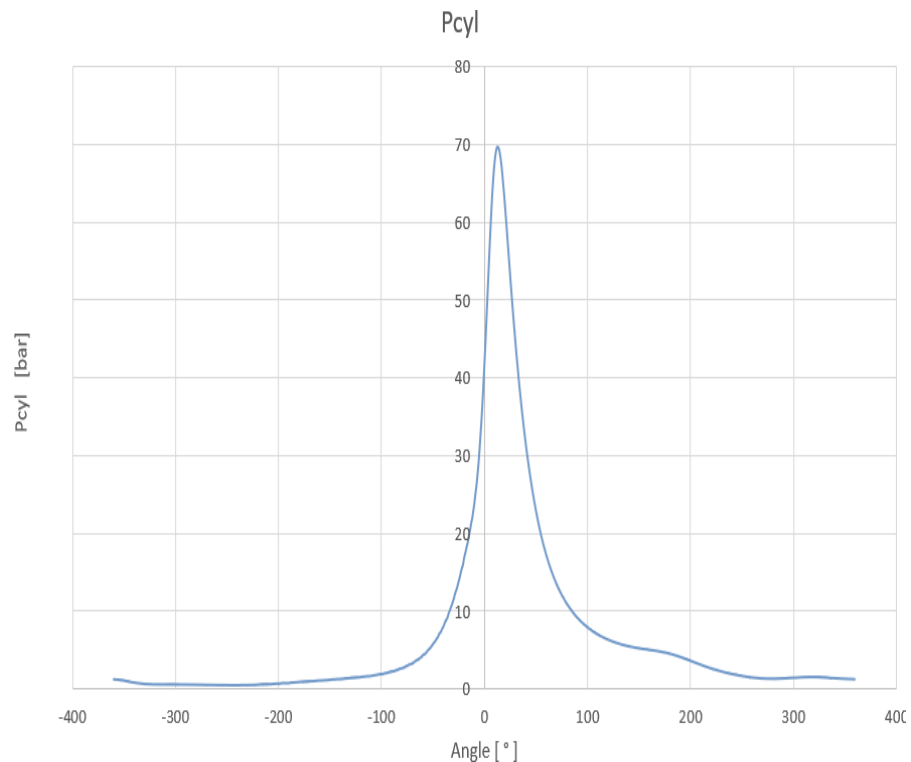


Рисунок 3.5 - Індикаторна діаграма при режимі 5900 об/хв

Таким чином, в ході діагностування були отримані дані щодо тиску в циліндрах двигуна, які будуть використані надалі для розрахунку шатуна на міцність.

3.3 Аналіз конструктивних особливостей шатуна

Розрахунок шатуна виконувався аналітичним методом за методикою RENAULT із використанням спеціалізованого програмного забезпечення та пакета інженерного аналізу.

Оскільки шатуни під час роботи двигуна внутрішнього згоряння піддаються значним навантаженням і змінним циклам напруг, для забезпечення їхньої надійної роботи протягом усього експлуатаційного періоду необхідно провести розрахунок на міцність.

Основні сили, які впливають на шатун у процесі роботи двигуна, включають:

силу тиску газів, яка діє, коли шатунно-поршнева група перебуває у верхній мертвій точці;

інерційні сили, які виникають при переміщенні шатунно-поршневої групи в циліндрі.

Програмне забезпечення дозволяє розрахувати міцність усіх елементів шатуна. Як приклад, розглянемо розрахунок стрижня шатуна. На рисунку 3.6 наведено формули для визначення площі поперечного перерізу, моменту інерції поперечного перерізу шатуна відносно осі Y та моменту інерції відносно осі X.

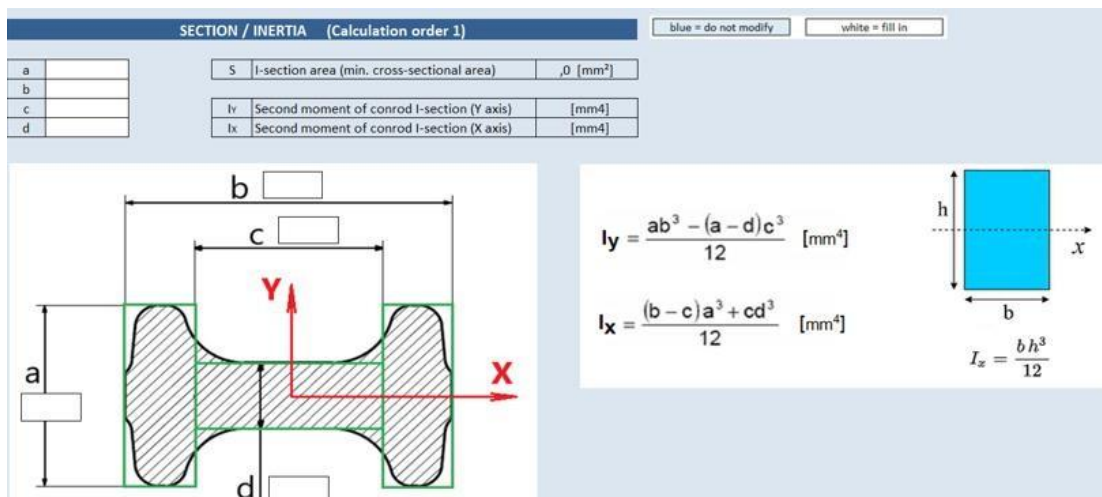


Рисунок 3.6 – Схема для розрахунку стрижня шатуна

Необхідно зазначити габаритні розміри стрижня шатуна. На рисунку 3.7 наведено параметри поперечного перерізу стрижня шатуна, отримані з цифрової моделі деталі. Результати розрахунку представлені на рисунку 3.8.

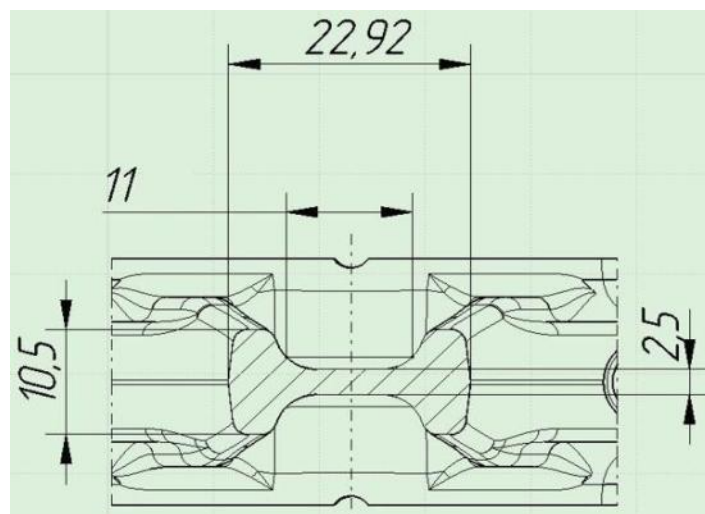


Рисунок 3.7 - Розміри стрижня шатуна для розрахунку на міцність

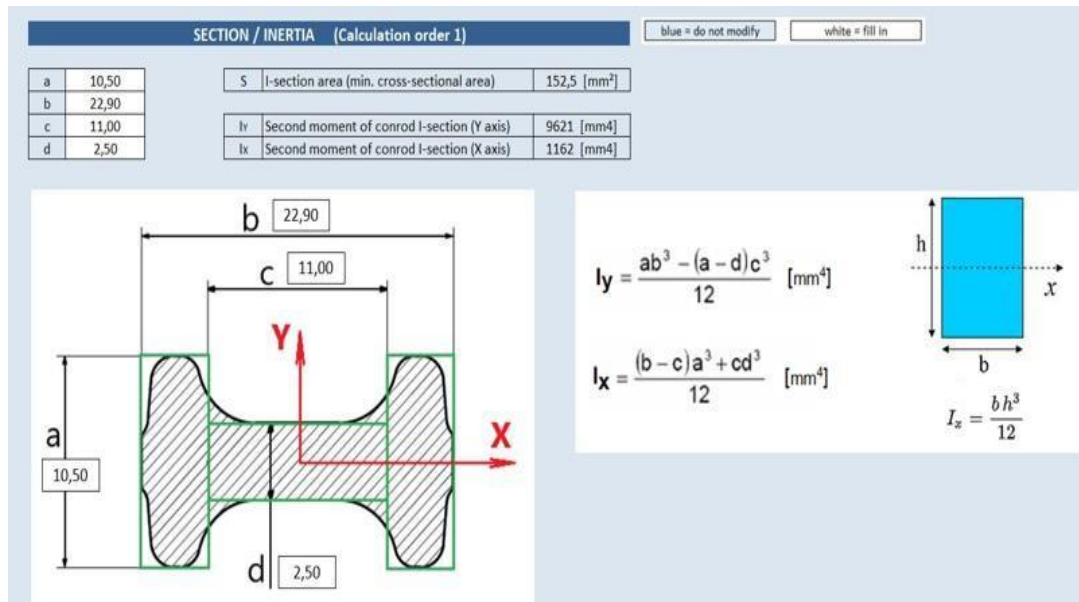


Рисунок 3.8 - Розраховані значення моментів в перерізі шатуна

Дані, отримані з цифрової моделі шатуна, вводяться в програму для виконання розрахунків моментів у поперечних перерізах шатуна. Отримані результати враховуються під час розрахунку його міцності.

Стрижень шатуна має двотавровий переріз, оскільки ця форма забезпечує високу жорсткість конструкції. У деяких випадках для підвищення жорсткості стрижня додають третю полицю вздовж його поздовжньої осі (рисунок 3.9).

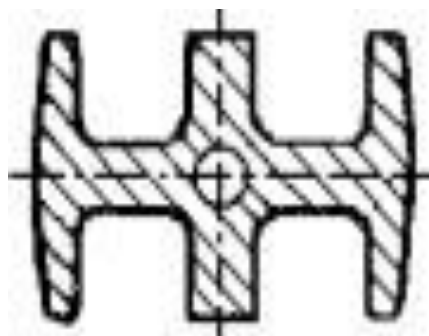


Рисунок 3.9 - Перетин шатуна з додатковою полицею для збільшення жорсткості конструкції

Реалізація такої конструкції вимагає додаткових витрат матеріалу та використання спеціалізованого обладнання. Розрахунок коефіцієнтів запасу міцності виконується програмою на основі раніше введених параметрів

шатуна. На рисунках 3.10, 3.11 і 3.12 представлено відповідну вкладку з результатами розрахунку.

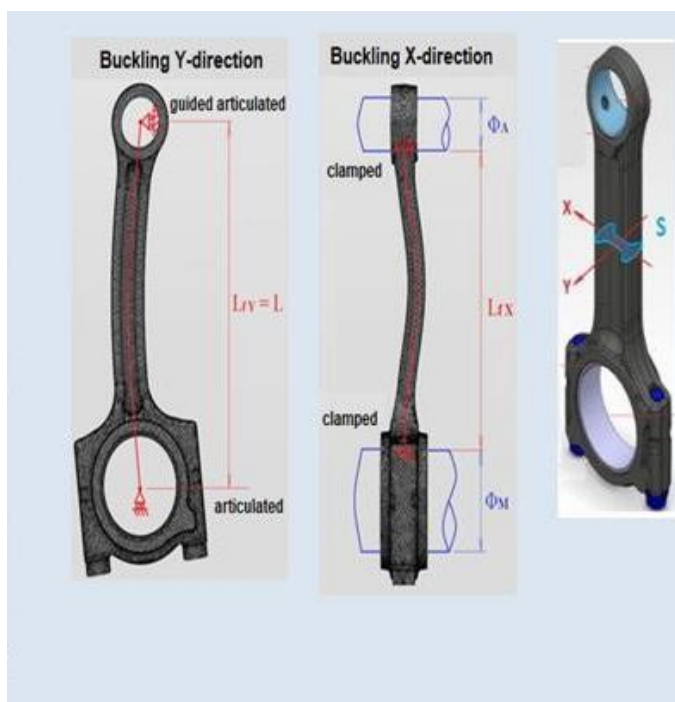


Рисунок 3.10 - Розрахунок міцності шатуна на згин

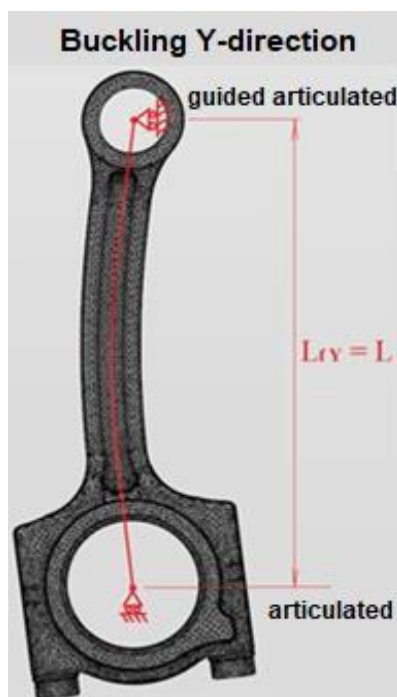


Рисунок 3.11 - Вигин шатуна в Y- напрямку

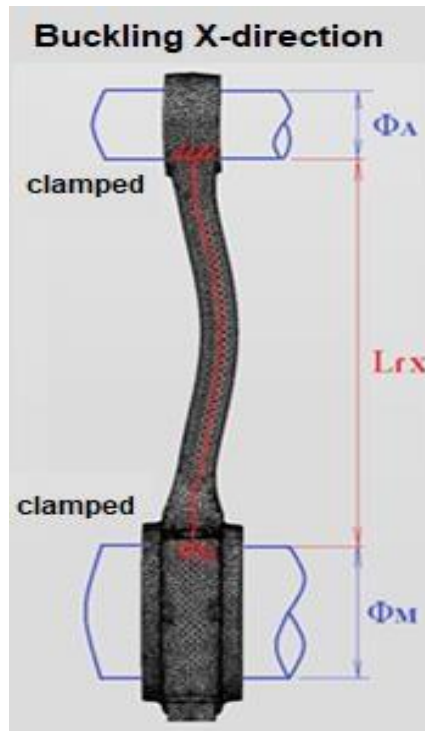


Рисунок 3.12 - Вигин шатуна в X- напрямку

За технічними вимогами коефіцієнт запасу міцності шатуна в Y-напрямку повинен бути більшим або дорівнювати значенню 3.8, а в X-напрямку – 3.12.

3.4 Розрахунок оптимізованої конструкції шатуна при автоматизованому проектуванні

Випробування деталей на міцність виконуються на спеціальних стендах, які дозволяють оцінити поведінку конструкції під впливом зовнішніх сил. Однак такі експериментальні дослідження є досить витратними. У зв'язку з цим активно розвиваються та впроваджуються різні системи автоматизованого проектування, які дають змогу виконувати розрахунки на міцність, моделювати фізичні процеси, аналізувати напруги, що виникають у деталях під час їх навантаження, та оцінювати їхню міцність.

Для розрахунків використовується 3D-модель шатуна, розроблена заздалегідь. Першим етапом є нанесення на модель кінцево-елементної сітки. На рисунку 3.13 зображено цифрову модель шатуна з накладеною сіткою.



Рисунок 3.13 – Цифрова модель шатуна з сіткою

Розрахунок міцності шатуна виконаний у два етапи: перший етап враховує вертикальне положення шатуна, коли він знаходиться у верхній мертвій точці, а другий — максимальний кут переміщення в 17 градусів, коли шатун рухається до нижньої мертвої точки.

На рисунках 3.14 і 3.15 представлені граничні умови для шатуна, із зазначенням напрямків векторів прикладених сил. У кривошипній головці шатуна виконана фіксація в осьовому та радіальному напрямках.

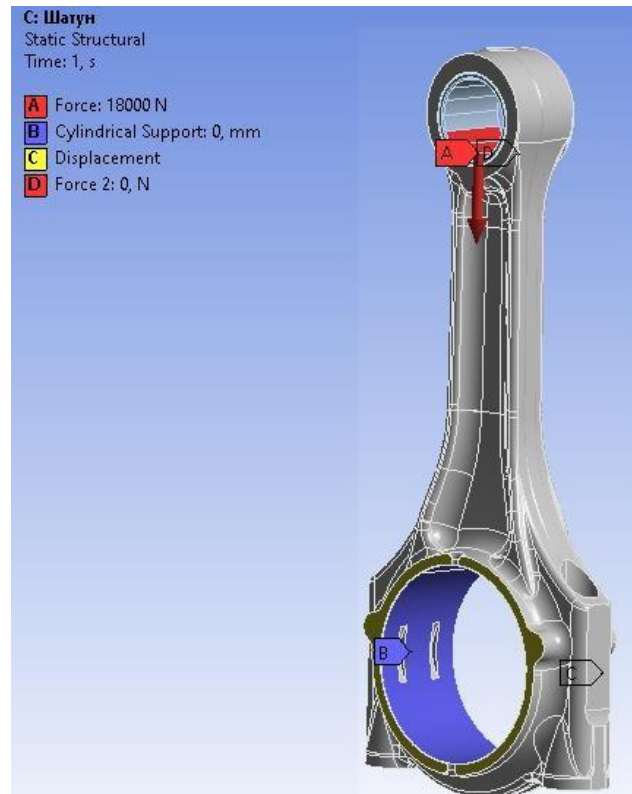


Рисунок 3.14 - Граничні умови навантаження шатуна, який знаходяться у верхній мертвій точці

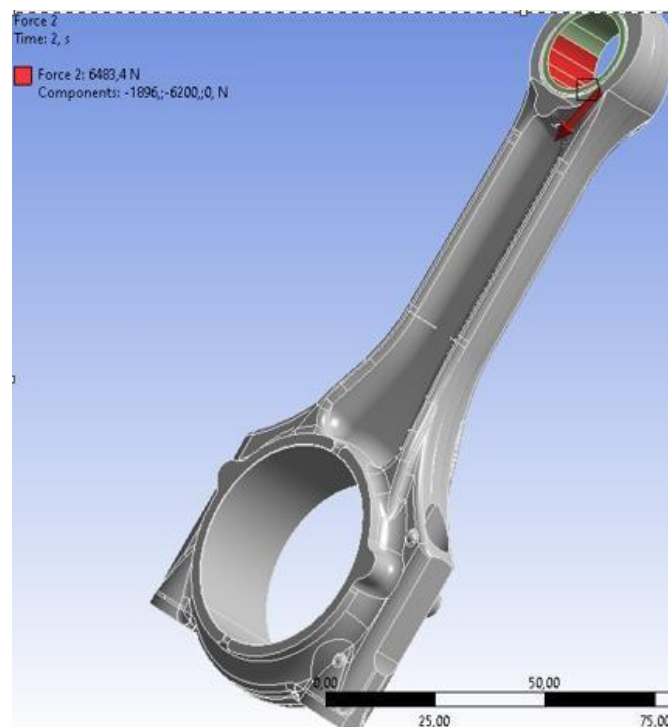


Рисунок 3.15 - Граничні умови навантаження шатуна, під максимальним кутом переміщення 17 градусів

На рисунку 3.16 показані результати розподілу деформації по шатуну при

вертикальному положенні, коли шатун знаходиться у верхній мертвій точці, а на рисунку 3.17 представлено розподіл деформації під кутом 17 градусів.

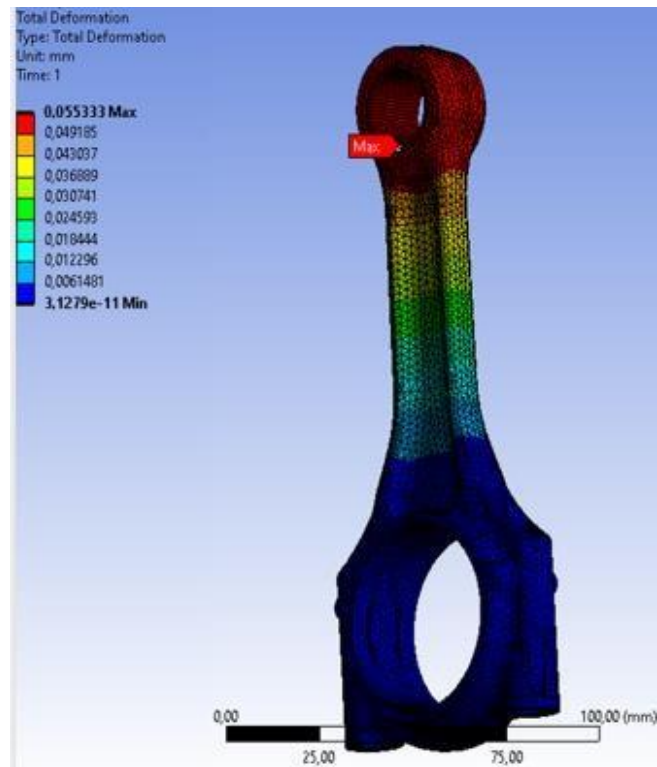


Рисунок 3.16 - Розподіл деформації по поверхнях шатуну

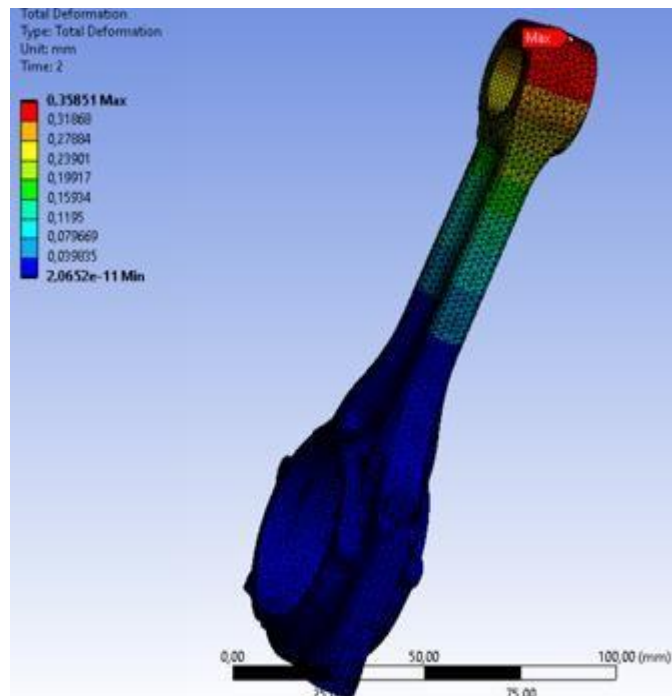


Рисунок 3.17 – Деформація поверхонь шатуну під кутом переміщення 17 градусів.

3.5 Оптимізація конструкції шатуна. Розрахунок шатуна по параметрах міцності

Розрахунки міцності конструкції шатуна показали позитивні результати, однак оптимізація спрямована на зменшення його маси без зниження коефіцієнта запасу міцності. Легша шатунно-поршнева група дозволяє двигуну внутрішнього згоряння швидше досягати високих обертів, що сприяє покращенню його ефективності.

На рисунку 3.18 показана цифрова модель діючого шатуна та його маса.

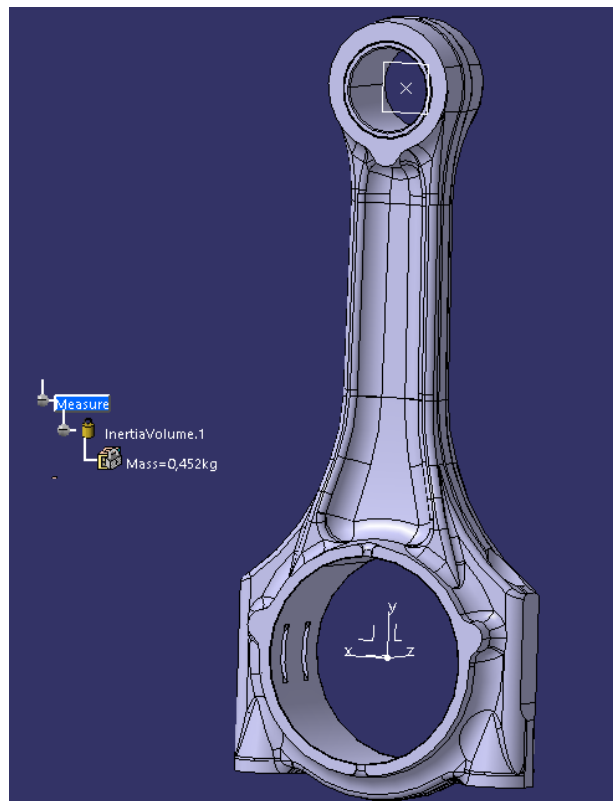


Рисунок 3.18 - Конструктивна форма запропонованого шатуна

На рисунку 3.19 представлена модернізація поршневої головки шатуна, яка набуває трапецеїдальної форми. Така конструкція дозволяє не лише зменшити масу деталі, але й покращити умови експлуатації поршневого пальця. У верхній мертвій точці газові сили впливають на поршень, поршковий палець, втулку та поршкову головку, викликаючи їх знос. Оптимізована форма допомагає знизити ці негативні впливи.

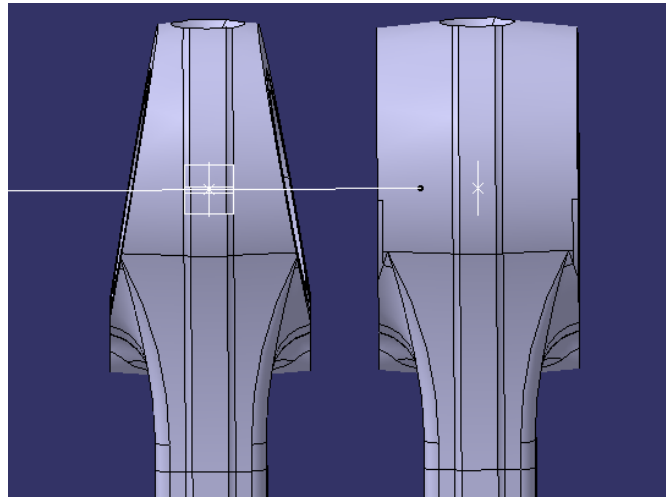


Рисунок 3.19 - Зміна форми головки шатуна

На рисунку 3.20 приведено результат зниження маси шатуна завдяки зрізу його верхньої головки - маса знизилася на 10 г.

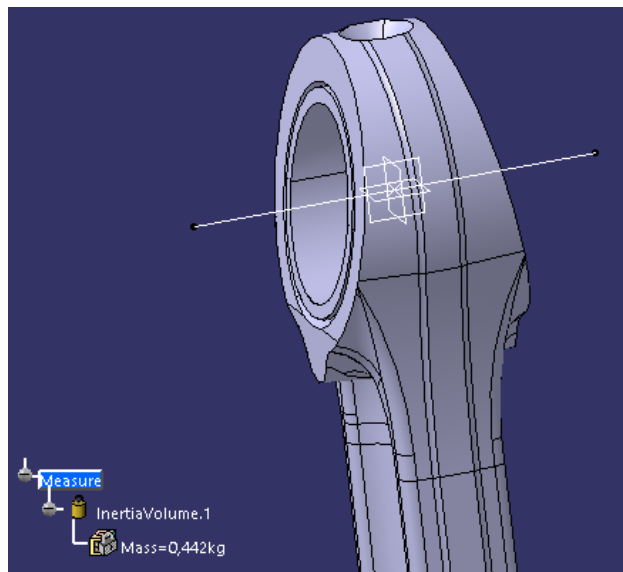


Рисунок 3.20 – Оптимізована конструкція головки шатуна

Оптимізуємо кришку кривошипної головки, зробивши виточки на ній. На рисунку 3.21, 3.22 зеленим кольором показано результати оптимізації конструкції кришки кривошипної головки

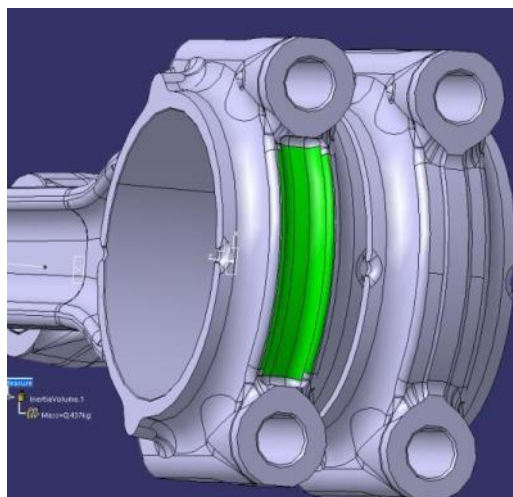


Рисунок 3.21 – Оптимізація конструкції кришки кривошипної головки шатуна

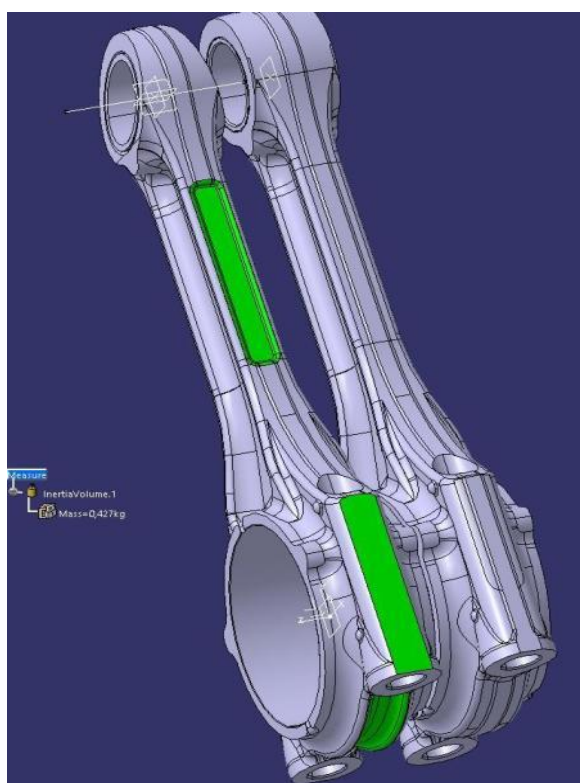


Рисунок 3.22 - Виточки на бічній поверхні кривошипної головки, і на стрижні шатуна

На рисунку також видно, що проточка в кришці нижньої головки дозволила знизити масу шатуна на 5 г, а загалом — на 15 г. Наступним етапом

оптимізації стало видалення матеріалу з кривошипної головки та виконання виточок на стрижні шатуна.

Результати модернізації представлені на рисунку 3.22, де зеленим кольором позначені ділянки, з яких видалено матеріал. У підсумку загальна маса шатуна зменшилася з 452 г до 427 г. Оскільки двигун має 4 циліндри і відповідно 4 комплекти шатунно-поршневої групи, це вдосконалення значно покращує загальні характеристики двигуна.

4 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ

4.1 Схеми та розрахунок температурних полів юбок поршня та локалізації місцевих навантажень

Як свідчать сліди припрацювання на прямолінійно утворених спідницях поршнів, контакт з поверхнею циліндра відбувається лише на невеликих ділянках. На цих ділянках можна спостерігати натертості, а іноді й задири. Причини незадовільного контакту між поверхнями спідниці поршня та циліндра визначені на основі наступних міркувань.

Припустимо, що до спідниці поршня за одиницю часу передається тепло в кількості Q_c (рисунок 4.1). Це тепло відводиться через матеріал спідниці, а далі передається до більш холодних стінок гільзи циліндра. Кількість тепла Q_x , яке проходить через поперечний переріз спідниці поршня на певній координаті x , змінюється через теплопровідність матеріалу і визначається законом Фур'є, який описує залежність теплового потоку від температурного градієнта.

$$Q_x = -\lambda F_{\text{ю}} \frac{dt}{dx},$$

де λ - коефіцієнт теплопровідності матеріалу поршня;

$F_{\text{ю}}$ - площа поперечного перерізу спідниці поршня.

За умови постійної товщини спідниці поршня $S_{\text{ю}}$, значення $F_{\text{ю}}$ також залишається постійним. На основі виразу::

$$\frac{dt}{dx} = \text{const } Q_x.$$

У зв'язку з відведенням тепла, кількість тепла Q_x зменшується зі збільшенням координати x . Це спричиняє зміну температурного розподілу, внаслідок чого температурна крива АВ вздовж спідниці поршня набуває форми, показаної на рис. 4.1.

Як свідчать спеціальні дослідження, температурні деформації, викликані температурними напруженнями, є незначними в порівнянні з вільними температурними деформаціями:

$$\Delta D = \alpha D (t - 20^\circ),$$

де α - коефіцієнт лінійного розширення матеріалу поршня;

D - діаметр циліндра;

t - температура спідниці поршня.

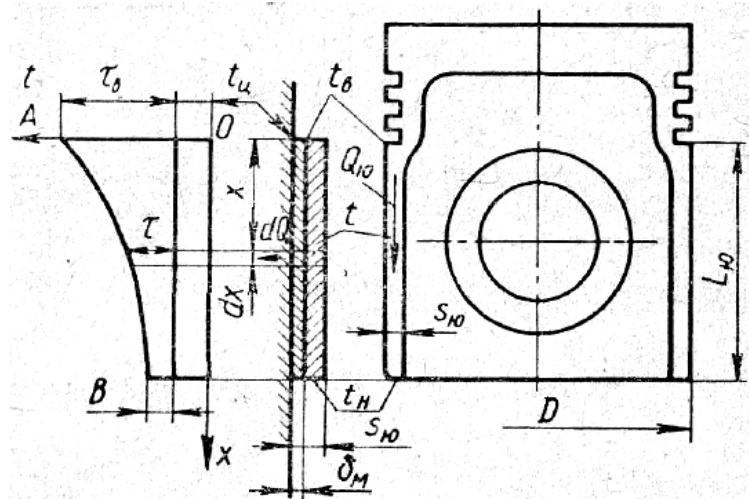


Рисунок 4. 1. Схема для розрахунку температури спідниці поршня

Таким чином, якщо спідниця поршня в холодному стані має прямолінійну твірну (тобто є циліндричною або конічною), то в робочому стані вона набуває корсетоподібної форми, подібно до температурної кривої, і контактує з поверхнею циліндра лише у верхній та нижній частинах, як це показано на рис. 4.2 та підтверджується слідами на спідниці поршня.

Для забезпечення повного контакту спідниці поршня з поверхнею циліндра по всій довжині в нагрітому стані, спідницю необхідно виготовляти в холодному стані бочкоподібною. Це означає збільшення її діаметра на довжині x на величину $2u$ (рис. 4.2) порівняно з прямолінійною твірною.

Якщо спідниця поршня в поперечному перерізі є круглою, то "насвітлення" та задири на її поверхні зазвичай локалізуються під певним кутом $\Delta\beta$ до осі пальця (рис. 4.3, а). Таке розташування навантажених ділянок спідниці поршня (без прорізів) можна пояснити таким чином:

Під дією бічної складової сили N , яка передається через бобишки поршня, спідниця прагне набути овальної форми (рис. 4.3, б), причому велика вісь овалу

розташовується по осі поршневого пальця.

Циліндр також деформується під впливом газового тиску, приймаючи овальну форму (рис. 4.3, в), але з великою віссю овалу, розташованою в площині хитання шатуна.

Щоб уникнути защемлення поршня в циліндрі за таких деформацій, на спідниці поршня роблять "холодильники" — зрізи в ділянках розточок під поршневий палець. Як показано на рис. 4.3, г, це дозволяє поршню контактувати з поверхнею циліндра на невеликих ділянках під певним кутом $\Delta\delta$, де виникають реакції N , рівномірно розподілені по обмежених площинах

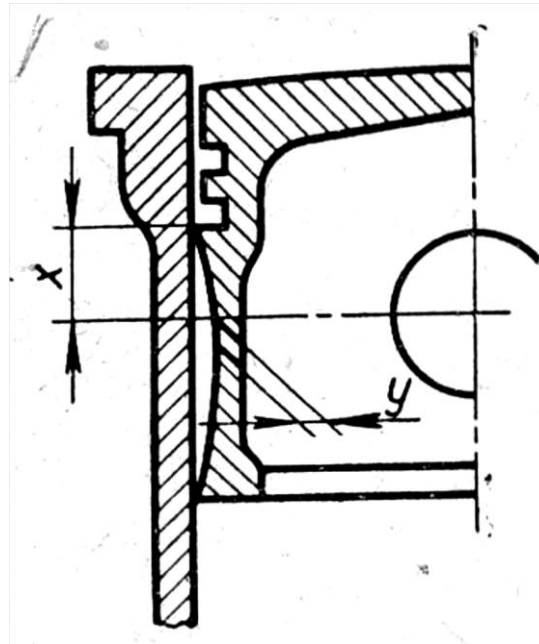


Рисунок 4.2 - Схема контакту нагрітого поршня з циліндром (у холодному стані поршень має прямолінійну утворюючу спідниці, в нагрітому — корсетоподібну).

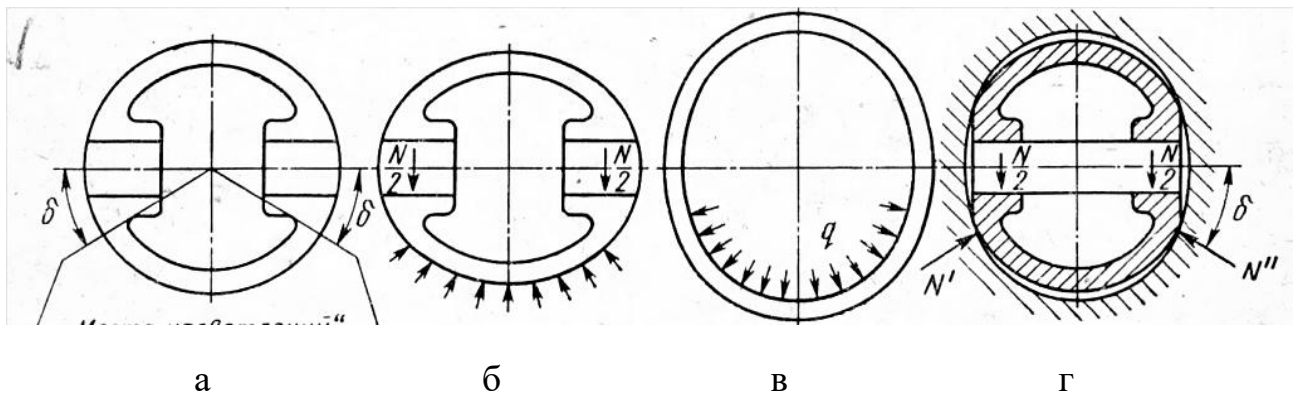


Рисунок 4. 3. Схеми до пояснення локалізації місцевих навантажень на спідниці поршня:

а - місця звичайних « світлень » і задирів круглих у холодному стані спідниць поршнів; б схема навантаження та деформації поршня; в - схема навантаження та деформації циліндра; г - наближена схема контакту спідниці поршня з циліндром у разі, коли у ненавантаженому стані спідниця виконана круглою.

Наведені вище причини, а також додаткові фактори, такі як посилене розширення в області нагрітих бобишок, деформації від осьового навантаження, нерівномірне розширення спідниці поршня по колу через наявність прорізів, які відокремлюють її від днища, та інші, обґрунтовують доцільність виготовлення спідниць поршнів з певним овалом. Таким чином, стає необхідним надання спідницям поршнів бочкоподібної та овальної форми.

4.2 Аналіз схем контакту юбки поршня із робочою поверхнею гільзи циліндра

Розглянемо поршень діаметром D (рис. 4.1) зі спідницею рівної товщини S_c по всій її довжині. Тепло відводиться від спідниці до стінок циліндра, які мають середню температуру t_c , через шар мастила товщиною $\Delta\delta$, який приймається рівномірним по всій поверхні спідниці. Температуру поршня позначимо через t а перепад температур між спідницею поршня та стінками циліндра — через $\tau = t - t_c$

При такій схемі теплового розповсюдження вздовж спідниці поршня, де відведення тепла відбувається з поверхні, процес можна уподібнити теплопровідності вздовж стрижня з тепловідводом через його бокову поверхню. Для цього використовується відоме рішення задачі, яке зводиться до вирішення рівняння теплопровідності.

$$\frac{d^2\tau}{dx^2} = -\frac{\tau}{\delta_m s_{ю}} \cdot \frac{\lambda_m}{\lambda}$$

При $x = 0$ перепад температур $\tau = \tau_b$, при $x = L_{ю}$ похідна $\frac{d\tau}{dx} = 0$; тоді

$$\tau = \frac{\operatorname{ch} K \left(1 - \frac{x}{L_{ю}} \right)}{\operatorname{ch} K} \tau_{\theta}$$

де

$$K = \frac{L_{ю}}{\sqrt{\frac{\lambda_{\delta_M S_{ю}}}{\lambda_M}}} = \operatorname{arc} \operatorname{ch} \frac{\tau_{\theta}}{\tau_H}$$

а λ і λ_M ; — відповідно коефіцієнти теплопровідності матеріалу поршня та шару, що розділяє поверхні спідниці поршня та циліндра.

Значення K , згідно з оцінками, базуючись на співвідношеннях (5), може змінюватися в межах від 1 до 8. Якщо підставити у вираз (3) величину $t = \tau + t_c$, скориставшись формулою (4) для визначення τ , то для кожного перерізу спідниці поршня, заданого координатою x , можна обчислити приріст діаметра поршня ΔD . Це дозволяє визначити необхідну бочкоподібність спідниці для забезпечення її прямолінійності в нагрітому стані.

Водночас, важливо враховувати, що навіть у робочому стані спідниця поршня має зберігати певну бочкоподібність. Це виправдано з кількох причин:

Виключення ймовірності небажаного кромочного контакту між спідницею поршня та циліндром при неминучих перекосах поршня під час поперечних рухів.

Краща сумісність бочкоподібного поршня з поверхнею циліндра, яка може мати увігнутість через деформації.

Поліпшення умов змащування спідниці поршня завдяки утворенню підйомної гідродинамічної сили.

Таким чином, бочкоподібність спідниці поршня в холодному стані має бути розрахована таким чином, щоб забезпечувати її оптимальну форму в робочому стані з урахуванням вільних теплових деформацій.

На основі вищевикладеного, можна сформулювати вимогу, щоб стрілки бочкоподібності у спідниці поршня в холодному стані (рис. 4.4) мали запас у кілька разів порівняно зі стрілками, що зникають під час нагрівання. Іншими словами, співвідношення залишкових стрілок нагрітого поршня (y_r) до

виконаних у холодному стані (u) має бути:

$$\frac{y_2}{y} = \frac{\beta - 1}{\beta}$$

або, значить

$$\frac{\beta - 1}{\beta} = n$$

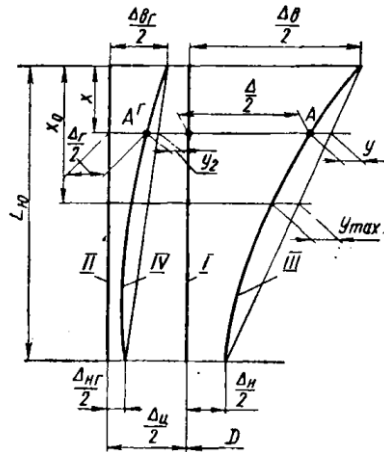


Рисунок 4.4 - Розміри холодних і гарячих циліндрів та бочкоподібної спідниці поршня та зазори між ними:

I – утворююча холодного циліндра; II - утворююча нагрітого циліндра; III - контур холодної спідниці поршня; IV - контур нагрітої спідниці поршня; D - діаметр циліндра в холодному стані; Δ_g - зазор між контуром поршня та циліндром у гарячому стані; Δ_n - розширення циліндра під час нагрівання; A^2 - положення точки A при гарячому поршні.

Користуючись схемою на рис. 4. 4 і використовуючи як основу розрахунків профілю спідниці поршня виразу (3), (4) та (6), отримаємо аналітичний вираз для стрілок бочкоподібної спідниці

$$y = \left[\frac{1 - \frac{\text{ch } K \left(1 - \frac{x}{L_{ю}} \right)}{\text{ch } K}}{1 - \frac{1}{\text{ch } K}} - \frac{x}{L_{ю}} \right] d,$$

де

$$d = \frac{\beta \alpha D (t_g - t_H)}{2}$$

Диференціювання та прирівнювання нулю виразу для y дозволяють знайти координату x_0 , для якої є найбільше значення стрілки $y_{\max}$

$$\frac{x_0}{L_{ю}} = 1 - \frac{1}{K} \operatorname{arsh} \frac{\operatorname{ch} K - 1}{K}$$

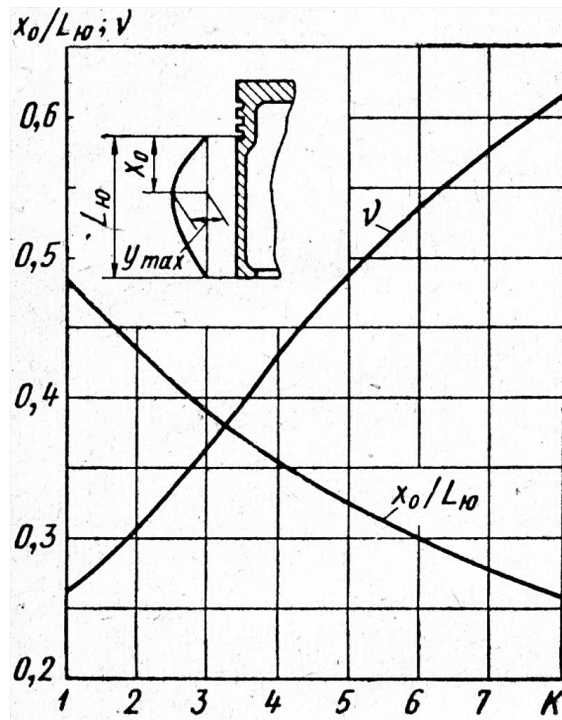


Рисунок 4.5 – Залежність величини зносу від параметра K

$$\begin{aligned} 1 & \text{ — при } K = 1 \left(\frac{x_0}{L_{ю}} = 0,48; v = 0,264 \right); \\ 2 & \text{ — при } K = 2 \left(\frac{x_0}{L_{ю}} = 0,435; v = 0,308 \right); \\ 3 & \text{ — при } K = 4 \left(\frac{x_0}{L_{ю}} = 0,35; v = 0,431 \right); \\ 4 & \text{ — при } K = 8 \left(\frac{x_0}{L_{ю}} = 0,26; v = 0,616 \right) \end{aligned}$$

На рисунку 4.5 представлено протікання величини і v в залежності від параметра K відповідно до формул вище.

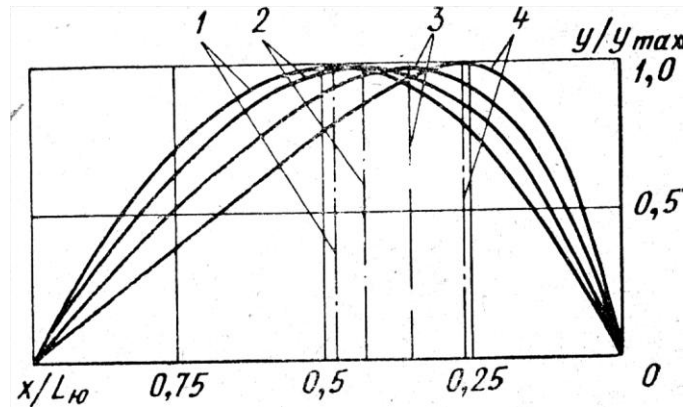


Рисунок 4.6 – Бочкоподібність юбки поршня при різних значеннях параметру K

Підставивши у формулу значення d та знайдемо:

$$\frac{y}{y_{\max}} = \frac{1}{v} \left[\frac{1 - \frac{\operatorname{ch} K \left(1 - \frac{x_0}{L_{ю}} \right)}{\operatorname{ch} K}}{1 - \frac{1}{\operatorname{ch} K}} - \frac{x_0}{L_{ю}} \right].$$

Як показують наведені формули, щоб уникнути кромкового контакту і водночас не допустити надмірно великої стрілки бочкоподібності спідниці поршня, необхідно зменшувати зазори між поршнем і циліндром як у холодному, так і в нагрітому станах. Додатково цьому може сприяти оптимальний вибір параметра K (рис. 4.6) та забезпечення відповідного запасу бочкоподібності $\Delta\beta$ (параметра n).

Однак ступінь, до якої потрібно прагнути досягти відсутності кромкового контакту у поршня в холодному стані, поки що може бути визначена лише на основі практичного досвіду, якого наразі недостатньо.

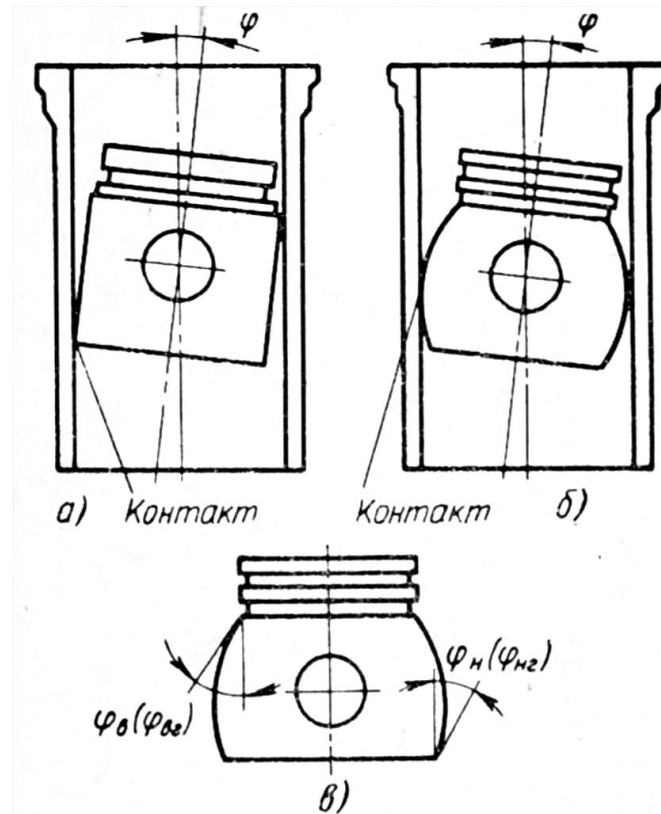


Рисунок 4.7 – Схема контакту юбки поршня з поверхнею циліндра
 а - кромковий контакт: б – контакт, у віддаленні від кромки спідниці; в – кути, дотичних до утворюючої бочкоподібного профілю в крайніх січеннях

Криві бочкоподібності спідниці поршня для різних значень параметра КК наведені на рис. 4.6. На початкових етапах проєктування бочкоподібних профілів спідниць поршнів двигунів ще не було враховано залежність профілю від зазорів між поршнем і циліндром. У результаті запроєктовані профілі виявилися невідповідними: спостерігався чітко виражений кромковий контакт і "світлення" верхнього поясу спідниці поршня. Для вдосконалення бочкоподібного профілю спідниці поршня знадобилося збільшити максимальну стрілку з початкового значення 0,03 мм до $\sim 0,07$ мм. Після внесених змін кромковий контакт спідниці поршня зник, а сліди припрацювання рівномірно розподілилися по всій довжині спідниці. Такий поршень був успішно впроваджений у виробництво. Порівняння розрахункових бочкоподібних профілів спідниць поршнів, розроблених за цією методикою, із профілями, виконаними спеціалізованими компаніями, які виготовляють поршні або двигуни, показало в усіх випадках задовільні результати.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Метрологічні умови в робочій зоні

Еталонні показники, які відносяться до санітарно-гігієнічних умов, являються результатом довголітніх досліджень і сформовані в санітарних нормах. Для спроектованої ділянки із санітарних норм температури, відносної вологості, швидкості руху повітря, вмісту в повітряному середовищі домішок та інші норми приведено в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 - Санітарно-гігієнічні умови на ділянці

Показники	Оптимальні	Допустимі	Недопустимі
1	2	3	4
Температура; °С	$\frac{16 \div 18}{20 \div 23}$	$\frac{15 \div 17}{28}$	$\frac{10}{38}$
Відносна волога повітря, %	44-60	до 75	80
Швидкість руху повітря м/с	до 0,3	до $\frac{0,5}{0,7}$	1,0
Вміст в повітряному середовищі мг/м ³			
- вуглеводів	200	300	більше 400
- оксиду вуглеводу	10	20	30
- кварцевого пилу	0,5	2,0	2,5
- марганцю	1	0,3	0,5
Шум, д Б	до 50	75-85	130

Примітка: чисельник-холодний період року, знаменник-літній період року.

5.2 Організація повітрообміну в виробничих приміщеннях

Вентиляція – це організований повітрообмін, який передбачає видалення з робочого приміщення забрудненого повітря і подачі замість нього свіжого

повітря. Для забезпечення потрібних метрологічних умов в приміщенні термічної дільниці передбачена місцева і загально обмінна вентиляція.

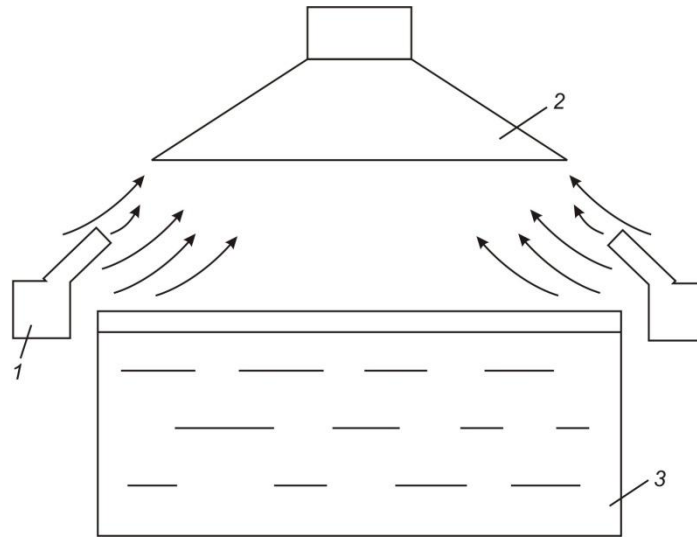


Рисунок 5.1 – Активний місцевий відсос:

1 - повітряний розподільувач; 2 - витяжний приймач; 3 - ванна.

В якості приточної вентиляції використовують в теплий період року природню вентиляцію, в холодний період року природню на відмітці не нижче 4м. А також використовують природнє на робочих місцях в холодний і теплий періоди року.

Кожухи повітря приймачі встановлюють на заточних та шліфувальних верстатах, на яких обробка матеріалів проводиться інтенсивним пиловиділенням. В більшості випадків кожухи забезпечують захист робітника не тільки від пилу, але й від травм при вильоті крупних частин оброблювального матеріалу.

Захисний кожух виконаний з листової сталі товщиною 2-3 мм. Робочий отвір кожуха має мінімальний по умовах технологічного процесу діаметр і розміщений назустріч основному факелу відходів. Для заточних і шліфувальних верстатів з абразивними кругами визначається розхід повітря за формулою:

$$L \approx 2d(3.45);$$

де d - діаметр круга;

$$L \approx 2 \cdot 175 = 350 \text{ мм}$$

Для чотирьох верстатів, які працюють на ділянці (два заточних 4А і два шліфувальних 3В 182 і МФ-66).

$$L \approx 4 \cdot (2d) = 4 \cdot (2 \cdot 175) = 1400 \text{ мм}$$

5.3 Електробезпека і заземлення

Експлуатація більшості машин зв'язана з використанням електричної енергії. Електричний струм, проходячи через організм людини спричиняє термічну, електролітичну і біологічну дію, викликаючи місцеві і загальні електротравми.

Основними причинами дії струму на людину являються: випадковий дотик або наближення на небезпечну відстань до струмо-ведучих частин; поява напруги на непомічених частинах обладнання в результаті пошкодження ізоляції або помилкових дій персоналу; крокова напруга на поверхні землі в результаті замикання проводу і т.д.

Основні міри захисту від електричного струму: ізоляція і недоступність струмоведучих частин і використання малої напруги (не вище 42В, а в особливо небезпечних приміщеннях – 12В); використання двійної ізоляції, вирівнювання потенціалу; захисне заземлення, залучення і використання спеціальних електрозахисних засобів; організація безпечної експлуатації установок.

Заземлення – найбільш часто використовується для захисту від електрики. Його ціль – вилучення електричних розрядів на провідних елементах обладнання. При заземленні ізольованого провідника різниця потенціалів між провідником і землею стає рівною нулю, а електричні розряди течуть в землю.

Апарати, машини і пристрої, які являються джерелами інтенсивного виникнення зарядів статичної електрики, виділяються і заземляються незалежно від заземлення всього технологічного ланцюга. Опір заземлюючого пристрою допускається до 100 Ом.

5.4 Першочергові дії персоналу і посадових осіб підприємств, установ та організацій у разі загрози виникнення терористичних або диверсійних актів

Заходи попереджувального характеру: здійснити комплексне обстеження стану надійності охорони об'єкта, посилити пропускний режим по допуску на об'єкт автотранспорту, персоналу і відвідувачів, проводити ретельну перевірку ввезеного на об'єкт майна і внесеної ручної поклажі. Для цих цілей використовувати технічні засоби (металодетектори, газоаналізатори, дзеркала для огляду автомобілів та ін.);

Вживати додаткових заходів щодо інженерно-технічної оснащеності об'єкта, додатково встановити модернізовані системи сигналізації і відеоспостереження в зонах підвищеного ризику;

Забезпечити телефони об'єкта, зазначені в офіційних довідниках, автоматичними визначниками номера і звукозаписною апаратурою;

розробити план евакуації відвідувачів, персоналу та постраждалих; визначити (уточнити) завдання служб охорони, безпеки об'єкту при евакуації;

У випадку загострення криміногенної обстановки в регіоні ввести чергування співробітників підрозділів безпеки, підсилити контроль за роботою особового складу охорони, регулярно здійснювати перевірки несення служби в денний і нічний час; сформулювати у кожній черговій зміні охорони, групи негайного реагування.

У ході щоденних інструктажів уточнювати розрахунок особового складу, що заступає на чергування, звертати особливу увагу на доведення оперативної обстановки на об'єкті, а також на необхідність посилення пильності і підвищення відповідальності співробітників;

Силами співробітників підрозділів охорони і безпеки організувати проведення систематичних обходів і оглядів об'єкта і прилеглої до нього території з метою своєчасного виявлення підозрілих предметів і запобігання закладки вибухових пристроїв, а також установлення сторонніх осіб, що проявляють підвищений інтерес до об'єкта; регулярно проводити перевірки

підсобних приміщень і територій, не допускати перекриття шляхів евакуації людей і транспорту; ввести в практику систематичне проведення перевірок проходження сигналів оповіщення від чергової зміни охорони до посадових осіб об'єкта, а також стану засобів оповіщення персоналу;

Організувати практичні тренування зі співробітниками охорони і персоналом по діях при виникненні надзвичайної ситуації терористичного характеру; провести інструктивні заняття з персоналом про порядок дій при прийомі телефонних повідомлень з погрозами терористичного характеру і правилах поводження з письмовими анонімними матеріалами (див.розділи 3 і 4). Звернути увагу на неприпустимість прийому на зберігання від сторонніх осіб будь-яких предметів та речей.

при укладанні договорів оренди приміщень об'єкта обов'язково включати умови, що дають право підрозділам безпеки здійснювати перевірку зданих в оренду приміщень;

здійснювати заходи щодо більш ретельного підбору персоналу об'єкта, у тому числі допоміжного складу (чергових, ремонтників, прибиральників тощо). Більш ретельно здійснювати перевірку і допуск на об'єкт фахівців сторонніх організацій.

Звільнити від зайвих предметів службові приміщення, сходові клітини, приміщення, де розташоване технічне устаткування; забезпечити регулярне видалення з будівель відходів, по можливості звільнити територію від будівельних лісів та металевого сміття, контейнери - сміттєзбірники встановити поза межами будівель об'єкту.

Довести до всього персоналу номери телефонів, за якими необхідно повідомити правоохоронні та інші органи при виявленні підозрілих предметів або ознак загрози проведення терористичного акту.

5.5 При виявленні на об'єкті підозрілого предмета, схожого на вибуховий пристрій.

Ознаки, що можуть вказувати на наявність вибухового пристрою:

- виявлення підозрілого предмету у будь-якому вигляді (сумка, згорток, пакет або предмет, схожий на гранату, міну, снаряд і т.п.) у місцях можливої присутності великої кількості людей, поблизу пожежо- і вибухонебезпечних місць, розташування різного роду комунікацій;

- наявність на виявленому предметі проводів, мотузок, ізоляційної стрічки, скотчу;

- підозрілі звуки, цокання годинника, що видаються предметом;

- від предмета виходить характерний запах мигдалю або інший незвичайний запах, на зовнішній оболонці присутні масляні плями.

Чинники, що служать приводом для побоювання:

- перебування підозрілих осіб до виявлення цього предмета,

- наявність погроз, висловлених особисто, по телефону або в поштових відправленнях.

Дії персоналу об'єкта при виявленні предмету, схожого на вибуховий пристрій:

- суворо забороняється самостійно здійснювати з виявленим підозрілим предметом будь-які дії, а саме: не наближатися, не торкати, не розкривати, не переміщати знахідку, не заливати її рідиною, не засипати піском і ґрунтом, не користуватися радіо- і електроапаратурою, переговорними пристроями (в тому числі мобільними телефонами);

- негайно повідомити про виявлений підозрілий предмет (вказавши точне місце його перебування, час виявлення та зовнішній вигляд) своєму керівництву або черговій службі (службам безпеки, охорони) об'єкту, а у разі неможливості встановлення зв'язку з ними особисто правоохоронному органу УМВСУ - тел. 102, УСБУ - тел. 37-92-44 чи підрозділу Управління ДСНС за телефоном 101. Надалі потрібно діяти за їхніми вказівками.

Дії посадових осіб об'єкта, які отримали інформацію про виявлений предмет з ознаками вибухового пристрою:

- дати вказівку не наближатися, не торкати, не розкривати, не переміщати знахідку, не заливати її рідиною, не засипати піском і ґрунтом, не користуватися радіо- і електроапаратурою, переговорними пристроями (в тому

числі мобільними телефонами);

- потрібно зафіксувати точне місце перебування і час виявлення підозрілого предмета, а також установчі дані осіб, що знайшли предмет. Забезпечте їхню присутність до моменту прибуття представників правоохоронних органів;

- при наявності підстав (існуванні реальної загрози життю та здоров'ю людей внаслідок очікуваного вибуху) потрібно організувати евакуацію персоналу, використовуючи маршрути, віддалені від місця перебування підозрілого предмета;

- дати вказівку співробітникам охорони оточити місце розташування предмета, знаходитися на безпечній відстані від нього або в місцях, що забезпечують захист (стіни будівлі, колонна, товсте дерево, автомобіль та ін.) і вести спостереження;

- при необхідності організувати відключення побутових і виробничих комунікацій газу, води й електрики;

- не знижуючи рівень охорони об'єкта, забезпечити можливість безперешкодного проходу або проїзду до предмета співробітників і транспорту органів реагування (УМВС, УСБУ, ГУ МНС, управління охорони здоров'я та ін.);

- надати можливість прибулим правоохоронцям опитати заявника та інших осіб, які володіють інформацією про подію, що сталася;

- далі потрібно діяти за вказівками представників правоохоронних органів.

ВИСНОВКИ

Магістерська кваліфікаційна робота на тему «Удосконалення та розрахунок конструкції шатуна автомобіля Dacia Logan MCV 2007 з дослідженням процесу профілювання бочкоподібних овальних юбок поршнів» присвячена питанням по аналізу конструктивних елементів основних вузлів та агрегатів двигуна даного автомобіля. Намічено основні шляхи, щодо зміни геометричних параметрів, параметрів точності та якості робочих поверхонь шатуна з метою оптимізації технологічного процесу його виготовлення та подальшого ремонту.

Проаналізовано режими експлуатації двигуна автомобіля, при яких великі значення частот обертання колінчастого вала призводять до частих поломок, як самого вала, так і окремих деталей шатунно-поршневої групи внаслідок дії крутильних коливань.

Автоматизоване проектування із комплектом необхідних розрахунків передбачає побудову поетапної цифрової моделі шатуна. Проведено вимірювання величини робочих тисків в циліндрах двигуна на основі, яких побудована індикаторна діаграма режимів роботи двигуна із розрахунком необхідного коефіцієнту запасу міцності з використанням методики Renault.

З використанням автоматизованої програми проектування проведено аналітичний розрахунок коефіцієнта міцності шатуна, щодо його конструктивних особливостей і одержано його значення – 1,34 у відповідності з вимогами до досліджень двигуна з використанням моторного стенда.

Щодо змін, які внесені в конструкцію шатуна, найбільш суттєвий вплив мають: змінена форма поршневої головки; виготовлення необхідної виточки в кришці в кривошипній головці шатуна; проточка зі сторони бічної поверхні кривошипної головки шатуна, які дозволили знизити масу шатуна з 452 гр. до 431 гр., при оптимальному значенні коефіцієнта запасу міцності – 1,4, що в загальному дозволило суттєво покращити техніко-економічні показники двигуна легкового автомобіля Dacia Logan MCV 2007.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ляшук О.Л., Гудь В.З., Пиндус Ю.І., Левкович М.Г., Хорошун Р.В. Методичний посібник до виконання кваліфікаційної роботи магістра за освітньо-кваліфікаційним рівнем «магістр» галузі знань 27 «Транспорт» спеціальності 274 «Автомобільний транспорт» – Тернопіль: Видавництво ТНТУ, 2020. – 66 с.
2. 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.
3. Основи технології виробництва та ремонту автомобілів : Навчальний посібник / Укладачі : Гевко І.Б., Рогатинський Р.М., Ляшук О.Л., Гудь В.З., Левкович М.Г., Сташків М.Я., Сіправська М.Д. – Тернопіль : Вид – во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. 544 с.
- 4 Підручник з будови автомобіля. Видання третє. Виправлене й доповнене – Моноліт 2021 – 288 с
5. Конспект лекцій з дисципліни «Відновлення деталей» для здобувачів освітнього рівня бакалавр за спеціальністю 274 «Автомобільний транспорт» / Укладачі: Левкович М.Г., Гупка А.Б., Сіправська М.Д. – Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2021. – 136 с.
6. Gypka, A., et al. The patterns of changes in the degree of lubrication of the crankshaft bearings of car engines depending on the parameters of the load-speed modes of operation. Problems of Tribology, 2024, 29.3/113: 72-78.
7. Aulin, Victor, et al. Tribodiagnosis of the surface damage of tribo-coupling parts materials during machine operation. Procedia Structural Integrity, 2024, 59: 428-435.
8. Навчальний посібник «Техноекологія та цивільна безпека. частина «Цивільна безпека»» / автор-укладач В.С. Стручок– Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., – 156 с.
9. Gypka, A., Aulin, V., Mironov, D., Leshchuk, R., Yarema, I., Bukhovets,

V., & Teslia, V. (2024). Structural and energetic self-organization of antifriction composite materials of car parts during friction and wear. *Problems of Tribology*, 29(2/112), 67-73.

10. Ляшук, О., Гевко, І., Гупка, А., Слободян, Л., Гевко, Б., & Хорошун, Р. (2023). Розробка моделі узагальненого діагностичного показника технічного стану ходової частини автомобіля з використанням математичних методів теорії планування експерименту. *сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*, 2(21), 135-144.

11. 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.