

Міністерство освіти і науки України
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова
Машинобудівний навчально-науковий інститут

Кафедра двигунів
внутрішнього згоряння,
установок та технічної
експлуатації

«Допущений до захисту»
завідувач кафедри
Гогоренко О. А.

« ____ » _____ 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Розрахунок автомобільного двигуна типу 8ЧН 10,3/9,9

Спеціальність 142 – Енергетичне машинобудування

Освітня програма – Двигуни внутрішнього згоряння

Для здобуття першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

Керівник роботи

Здобувач освіти

О. С. Митрофанов

І. С. Могильников

Миколаїв 2025

Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

Інститут, факультет Машинобудівний навчально-науковий
Кафедра Двигунів внутрішнього згорання, установок та технічної експлуатації
Ступінь Бакалавр
Спеціальність 142 Енергетичне машинобудування
(шифр і назва)
Освітня програма Двигуни внутрішнього згорання

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ДВЗ, У та ТЕ
О. А. Гогоренко
«___» _____ 20__ року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧЕВІ ОСВІТИ

Могильников Ігор Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розрахунок автомобільного двигуна типу 8ЧН 10,3/9,9

2. Керівник роботи д.т.н., проф. Митрофанов О. С.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від “___” _____ 20__ року № _____

3. Строк подання здобувачем роботи _____

4. Вихідні дані до роботи ДВЗ прототип – автомобільний двигун 8ЧН 10,3/9,9;
потужність – 296 кВт; частота обертання – 3000 хв⁻¹

5. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Опис конструкції дизельного автомобільного двигуна типу 8ЧН 10,3/9,9. 2. Розрахунок робочого циклу та динаміки автомобільного двигуна типу 8ЧН 10,3/9,9 (General Motors 6.6L V-8 Duramax LML Turbo-Diesel). 3. Розрахунок та проектування шатуну автомобільного двигуна типу 8ЧН 10,3/9,9 (General Motors 6.6L V-8 Duramax LML Turbo-Diesel). 4. розробка заходів забезпечення вимог охорони праці при експлуатації транспортних ДВЗ.

6. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1. Загальний вигляд двигуна 8ЧН 10,3/9,9.
2. Індикаторна діаграма та діаграми динаміки.
3. Шатун двигуна 8ЧН 10,3/9,9.

7. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Митрофанов О. С., проф. каф. ДВЗ, У та ТЕ		
2	Митрофанов О. С., проф. каф. ДВЗ, У та ТЕ		
3	Митрофанов О. С., проф. каф. ДВЗ, У та ТЕ		
4	Митрофанов О. С., проф. каф. ДВЗ, У та ТЕ		

8. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Виконання розділу № 1		
2.	Виконання розділу № 2		
3.	Виконання розділу № 3		
4.	Виконання розділу № 4		

Здобувач освіти

_____ /І. С. Могильников /
 (підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ /О. С. Митрофанов/
 (підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

У кваліфікаційній роботі: «*Розрахунок автомобільного двигуна типу 8ЧН 10,3/9,9*» виконано ряд розрахунків високообертового автомобільного дизельного двигуна, а також проектування складових елементів шатунної групи.

Наведено опис конструкції автомобільного дизельного двигуна General Motors 6.6L V8 Duramax серії LML (8ЧН 10,3/9,9). Виконано моделювання номінального режиму навантаження двигуна 8ЧН 10,3/9,9, а також розрахунки кінематики та динаміки. Одержано ряд графічних залежностей зміни параметрів робочого тіла та діючих сил.

Розглянуто основне призначення, умови роботи та діючі навантаження на елементи шатунної групи різних конструкцій. Розглянуто матеріали, що використовують провідні фірми виробники двигунів для виготовлення шатунів сучасних форсованих двигунів внутрішнього згоряння. Виконано узагальнений розрахунок на міцність заданої будови шатуна та його нижньої кришки.

Наведено загальні заходи з техніки безпеки для робітників під час ремонтування та технічного огляду автомобільного колісного транспорту з дизельними двигунами, а також розраховано рівень шуму і вібрації.

Кваліфікаційна робота написана українською мовою та складається з шістдесяти семи аркушів розрахунково-пояснювальної записки. Має три креслення графічної частини.

Ключові слова: автомобільний двигун; шатун; шатунна група; розрахунок на міцність; умови навантаження; матеріали для виробництва шатунів.

					КРБ.142.4227зст.25.06.00.ПЗ	Лист
						4
Зм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

ABSTRACTS

In the qualification work «Calculation of an automobile engine type 8CHN 10.3/9.9» a number of calculations of a high-speed automobile diesel engine were performed, as well as the design of the components of the connecting rod group.

A description of the design of the General Motors 6.6L V8 Duramax automotive diesel engine of the LML series (8CH 10.3/9.9) is given. The modelling of the nominal loading mode of the 8HN 10.3/9.9 engine, as well as calculations of kinematics and dynamics, has been carried out. A number of graphical dependences of changes in the parameters of the working body and acting forces are obtained.

The main purpose, operating conditions, and operating loads on connecting rod group elements of various designs are considered. The materials used by leading engine manufacturers for the manufacture of connecting rods for modern forced internal combustion engines are considered. A generalised strength calculation of a given connecting rod structure and its lower cover is performed.

The general safety measures for workers during the repair and technical inspection of motor wheeled vehicles with diesel engines are presented, as well as the noise and vibration levels are calculated.

The qualification work is written in Ukrainian and consists of sixty-seven pages of calculation and explanatory notes. It has three drawings of the graphic part.

Key words: automobile engine; connecting rod; connecting rod group; strength calculation; loading conditions; materials for the production of connecting rods.

					<i>КРБ.142.4227зсм.25.06.00.ПЗ</i>	Лист
						5
Зм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
Розділ 1. ОПИС КОНСТРУКЦІЇ ДИЗЕЛЬНОГО АВТОМОБІЛЬНОГО ДВИГУНА ТИПУ 8ЧН 10,3/9,9	
1.1. Характеристика двигуна типу 8ЧН 10,3/9,9.....	9
1.2. Висновок до розділу.....	19
Розділ 2. РОЗРАХУНОК РОБОЧОГО ЦИКЛУ ТА ДИНАМІКИ АВТОМОБІЛЬНОГО ДВИГУНА ТИПУ 8ЧН 10,3/9,9 (GENERAL MOTORS 6.6L V-8 DURAMAX LML TURBO-DIESEL)	
2.1. Розрахунок робочого циклу та побудова індикаторної діаграми автомобільного двигуна типу 8ЧН 10,3/9,9 (General Motors 6.6L V-8 Duramax LML Turbo-Diesel).....	20
2.2. Розрахунок кінематики та динаміки автомобільного двигуна типу 8ЧН 10,3/9,9 (General Motors 6.6L V-8 Duramax LML Turbo-Diesel).....	31
2.3. Висновок до розділу.....	42
Розділ 3. РОЗРАХУНОК ТА ПРОЕКТУВАННЯ ШАТУНА АВТОМОБІЛЬНОГО ДВИГУНА ТИПУ 8ЧН 10,3/9,9 (GENERAL MOTORS 6.6L V-8 DURAMAX LML TURBO-DIESEL)	
3.1. Призначення шатуна, умови роботи та діючі сили	43
3.2. Основні методи підвищення міцності шатунів ДВЗ та матеріали для їх виготовлення.....	47
3.3. Розрахунок шатуна автомобільного двигуна типу 8ЧН 10,3/9,9 (General Motors 6.6L V-8 Duramax LML Turbo-Diesel).....	52
3.4. Висновок до розділу.....	57
Розділ 4. РОЗРОБКА ЗАХОДІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИМОГ ОХОРОНИ ПРАЦІ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТРАНСПОРТНИХ ДВЗ	
4.1. Аналіз заходів техніки безпеки під час ремонтування і технічного обслуговування автомобільного колісного транспорту з ДВЗ.....	59

4.2. Розрахунки рівня шуму автомобільного двигуна 6.6L V8 Duramax LML (8ЧН 10,3/9,9).....	63
4.3. Висновок до розділу.....	65
ВИСНОВКИ.....	66
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	67

Додаток А. Загальний вигляд двигуна 8ЧН 10,3/9,9

Додаток Б. Індикаторна діаграма та діаграми динаміки

Додаток В. Шатун двигуна 8ЧН 10,3/9,9

					<i>КРБ.142.4227зст.25.06.00.ПЗ</i>	Лист
						7
Зм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

За більш ніж столітню історію поршневого двигунобудування ситуація не змінилася двигуни внутрішнього згоряння (ДВЗ) так і залишилися основним силовим агрегатом для транспортних засобів. Однак за останні п'ятнадцять років поршневі ДВЗ різко змінили свій вигляд – вони стали досить складними технічними системами.

Сьогодні при розробці ДВЗ використовуються новітні технології виробництва конструкційних матеріалів, їх обробки та складання. Це, в свою чергу, передбачає застосування нових матеріалів, таких як кераміка, робочих тіл з визначеними властивостями та необхідною довговічністю, алюмінієвих циліндрів тощо. Інноваційні технології дозволяють досягти високого рівня потужності двигуна та покращити його конструктивні характеристики. Впровадження сучасних інформаційних і комунікаційних технологій у процес створення промислових виробів призвело до формування CALS-технологій, які забезпечують новий рівень інформаційної підтримки на всіх етапах життєвого циклу ДВЗ. Ці технології спрямовані на підвищення ефективності управління інформаційними ресурсами підприємства, а також на оптимізацію експлуатації, діагностики (включаючи діагностику на борту автомобіля) та проведення якісного технічного обслуговування кожного конкретного двигуна.

					<i>КРБ.142.4227зст.25.06.00.ПЗ</i>	Лист
						8
Зм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1

ОПИС КОНСТРУКЦІЇ ДИЗЕЛЬНОГО АВТОМОБІЛЬНОГО ДВИГУНА ТИПУ 8ЧН 10,3/9,9

1.1. Характеристика двигуна типу 8ЧН 10,3/9,9

Коли двигун General Motors (GM) L5P уперше дебютував на Chevrolet Silverado HD 2017 року та GMC Sierra HD 2017 року, він розвивав сертифікований SAE крутний момент у 1234 Н·м та 445 кінських сил (332 кВт). Потужність залишилася незмінною для наступного покоління моделей Chevrolet Silverado HD 2020 і GMC Sierra HD 2020. Для Silverado HD і Sierra HD 2024 модельного року він отримав збільшення потужності і крутний момент.

Двигун General Motors Duramax 6.6L LML (8ЧН 10,3/9,9) представляє нове покоління, яке має абсолютно новий, міцніший блок циліндрів, а також нову, розроблену GM, систему управління двигуном (рис. 1.1). Високі значення крутного моменту на низьких обертах є фірмовою рисою Duramax Diesel. Так покоління дизелів L5P забезпечує 90 % пікового крутного моменту на низьких обертах 1550 хв⁻¹ і підтримує його до 2850 хв⁻¹, що сприяє потужній, впевненій тязі на низьких швидкостях автомобілів, якими він приводиться в рух.

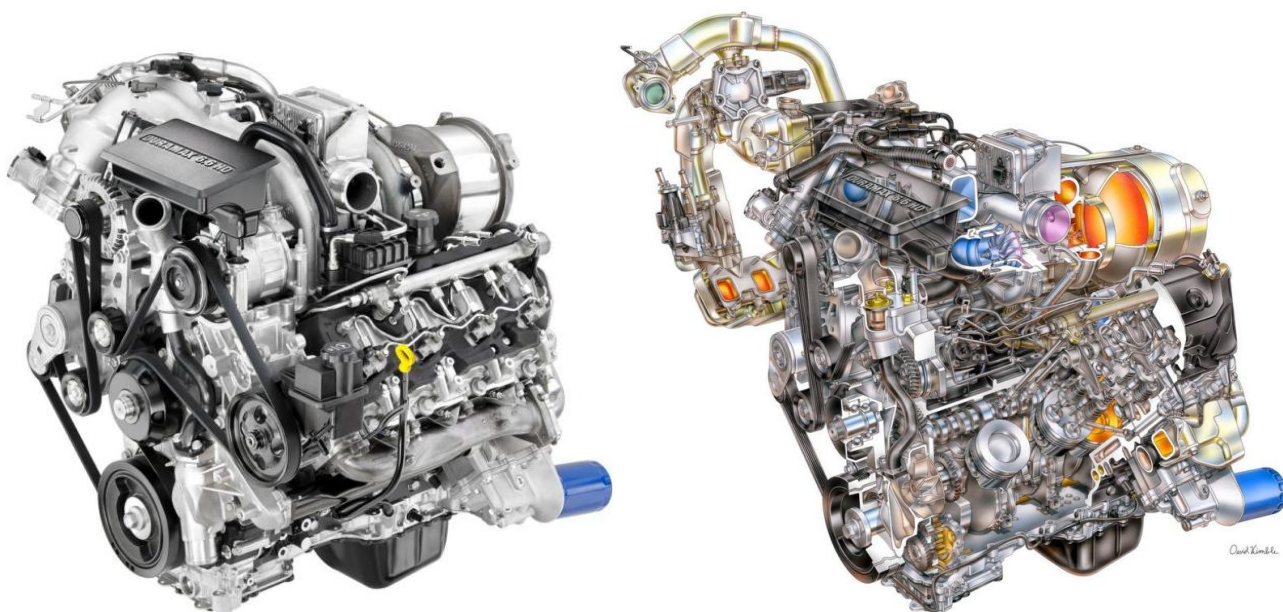


Рисунок 1.1 – Загальний вигляд та компоновка автомобільного дизеля 6.6L V-8 Duramax LML Turbo-Diesel (8ЧН 10,3/9,9)

					КРБ.142.4227зст.25.06.01.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		9

Новий 6.6L також має новий профіль розподільчого валу та покращену конструкцію головки блоку циліндрів; новий турбонагнітач зі змінними лопатками з електронним керуванням, що дозволяє двигуну виробляти більше потужності при менших викидах вихлопних газів. Удосконалений механізм регульованих лопаток забезпечує вищу температуру вихлопних газів, що дозволяє двигуну досягати більшої потужності за нижчого тиску в циліндрі. Параметри двигуна General Motors 6.6L V-8 Duramax LML Turbo-Diesel (8ЧН 10,3/9,9) представлено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Параметри двигуна General Motors 6.6L V8 Duramax LML Turbo-Diesel (8ЧН 10,3/9,9)

№ з.п.	Параметр	Розмірність	Значення
1	Тип двигуна та заводське маркування	—	6.6L V-8 Duramax LML Turbo-Diesel
2	Конфігурація розміщення клапанів	—	Верхнє розміщення клапанів
3	Кількість клапанів на циліндр	—	4
4	Число циліндрів / розташування	—	8-V
5	Діаметр циліндра / хід поршня	мм	103 /99
6	Робочий об'єм	л	6,6
7	Порядок роботи	—	1–2–7–8–4–5–6–3
8	Ступінь стиснення	—	16
9	Паливна система	—	DI з паливною системою високого тиску Common Rail
10	Тип палива		Дизельне паливо з наднизьким вмістом сірки та біодизель B20
11	Потужність при 3000 об/хв	к.с. (кВт)	403(296)
12	Крутний момент при 1600 об/хв	Н·м	1322
13	Контроль викидів з ВГ		Рециркуляція відпрацьованих газів з охолодженням (EGR), селективна каталітична нейтралізація (SCR), сажовий фільтр (DPF), впускна дросельна заслінка

Крім того, нова, запатентована система впуску повітря з функціональним ко-впаком капота подає холодне сухе повітря в двигун, забезпечуючи стабільну продуктивність і більш низьку температуру двигуна в складних умовах, наприклад, при буксируванні на крутих схилах.

Прохолодне повітря допомагає двигуну краще працювати під навантаженням, особливо в умовах, коли температура двигуна і трансмісії може швидко підвищуватися. Це дозволяє Duramax LML 6.6L (8ЧН 10,3/9,9) підтримувати більшу потужність і швидкість автомобіля під час буксирування в найскладніших умовах.

Модернізація підвищує ефективність буксирування в реальних умовах, що особливо важливо для ринку надпотужних пікапів, адже 89% всіх клієнтів купують вантажівки вантажопідйомністю менше 25000 фунтів. Саме для таких клієнтів пропонується новий дизельний двигун Duramax для Chevrolet Silverado HD 2017 та GMC Sierra HD 2017:

Розгін від 0 до 100 км/год без навантаження за 7,1 секунди в моделях GM 2500HD Crew Cab 4WD, що на сім десятих секунди швидше, ніж у моделі попереднього покоління. Буксирування 10 000 фунтів, розгін від 50 до 70 миль/год за 10,6 секунди у моделях 2500HD зі звичайною кабіною 4WD, що на 1,5 секунди швидше, ніж у моделі попереднього покоління.

При буксируванні вантажу вагою 23000 фунтів за температури навколишнього середовища 110 градусів за Фаренгейтом, Silverado та Sierra 3500HD Crew Cab 2WD з DRW піднімаються на греблю Девіса на 40 секунд швидше, ніж моделі попереднього покоління.

Дизельний двигун General Motors 6.6L V8 Duramax серії *LML* був спеціально орієнтований на нові стандарти викидів шкідливих речовин особливо NO_x. Двигуни General Motors Duramax серії *LML* і *LGH* були першими дизелями компанії, на яких встановлено систему селективного каталітичного відновлення продуктів згоряння (SCR). Також двигун General Motors 6.6L V8 Duramax серії *LML* отримав сучасну систему упорскування – Piezo, що значно покращило його економічні показники.

Блок робочих циліндрів дизельного двигуна General Motors 6.6L V8 Duramax серії *LML* виконано литтям з певними технічними удосконаленнями (рис. 1.2). Внесені зміни у конструкцію блоку забезпечило набагато плавну та тихішу роботу дизеля. Блок робочих циліндрів чавунний та має підвищену міцність.

					КРБ.142.4227зст.25.06.01.ПЗ	Аркуш
						11
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		



Рисунок 1.2 – V- подібний блок робочих циліндрів дизельного двигуна General Motors 6.6L V8 Duramax серії LML

Стінки робочих циліндрів дизельного двигуна General Motors 6.6L V8 Duramax серії LML індукційно загартовані. Нижній піддон дизеля серії LML виготовлено з литого алюмінію. Що додатково зміцнює блок робочих циліндрів, а також є фактично нижньою кришкою остову. Використання алюмінію значно зменшуючи загальну вагу двигуна.

Блок робочих циліндрів двигуна дизельного двигуна General Motors 6.6L V8 Duramax серії LML (8ЧН 10,3/9,9) має вісім робочих циліндрів діаметра $D_{\text{ц}} = 103$ мм при робочому ході поршня у $S = 99$ мм. Таке поєднання геометричних параметрів дає можливість отримати загальний робочий об'єм у 6,6 л. Кут розвалу робочих циліндрів складає 90° .

Колінчастий вал (рис. 1.3) дизельного двигуна General Motors 6.6L V8 Duramax серії LML (8ЧН 10,3/9,9) виготовлено куванням з легованої сталі. Шатуни також виготовляються куванням. Матеріал шатунів – легована сталь. Поршень дизеля 8ЧН 10,3/9,9 кований з покращеного алюмінієвого сплаву (цільний). Використання алюмінієвого сплаву значно знижує поступово рухомі маси і відповідно сили інерції від них.

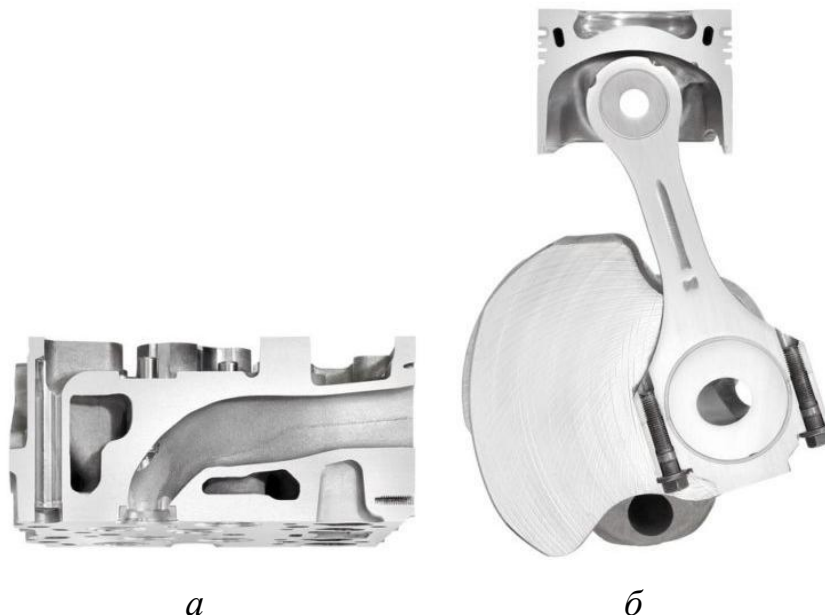


Рисунок 1.3 – Елементи дизельного двигуна General Motors 6.6L V8 Duramax серії LML (8ЧН 10,3/9,9):

а – кришка робочого циліндру; *б* – елементи КШМ

Колінчастий вал дизельного двигуна General Motors 6.6L V8 Duramax серії LML (8ЧН 10,3/9,9), зокрема шийки піддаються поверхневому загартуванню й азотуванню, що значно збільшує їх міцність та зносостійкість.

На двигуні General Motors 6.6L V8 Duramax серії LML (8ЧН 10,3/9,9) застосовано вдосконалену масляну систему в якій забезпечено більш високу пропускну здатністю та подачу змащувального масла до підшипників турбонагнітача. Нова масляна система забезпечує значно підвищений тиск змащувального масла в турбонагнітачі та більш швидку (збільшення швидкості потоку) його подачу.

В нижній частині блоку біля отворів робочих циліндрів розміщено масляні форсунки, які за рахунок подавання струменя масла забезпечують охолодження поршнів дизеля. Подача масла здійснюється у масляні канали розташовані під головкою поршня. Інтенсивна подача масла сприяє досить ефективному зниженню температури поршня і сприяє збільшенню терміну його роботи.

Новий піддон збору масла складається з двох окремих половинок. Така конструкція піддону сприяє зниженню шумності роботи дизеля. Так конструктивно масляний піддон складається з багатошарової сталеві частини, яка і слугує для

збору масла та верхньої алюмінієвої секції, яка приєднується до блоку циліндрів. Саме алюмінієва частина піддону забезпечує додаткову жорсткість остова. У разі використання масляного піддону виготовленого цілком з алюмінію буде забезпечено мінімальні показники ваги, однак це призведе до збільшення шуму та вібрації. Саме тому конструкторами двигуна було прийнято рішення о двосекційності масляного піддону.

Поршні вал дизельного двигуна General Motors 6.6L V8 Duramax серії LML (8ЧН 10,3/9,9) спроектовано з урахуванням забезпечення мінімальної маси рис 1.4), що допомагає дизелю швидше реагувати на зміну навантаження та більш інтенсивно набирати оберти.



Рисунок 1.4 – Поршнева група дизельного двигуна General Motors 6.6L V8 Duramax серії LML (8ЧН 10,3/9,9)

Шатуни (рис. 1.5) дизельного двигуна General Motors 6.6L V8 Duramax серії LML (8ЧН 10,3/9,9) зміцнені та мають оновлену конструкцію. Нижня головка шатуна має кут нахилу у 45° . Похилий роз'єм дозволяє збільшити розміри морелевих шийок та підшипників, що відповідно сприяє зниженню питомих тисків на них. Збільшення нижньої головки шатуна за рахунок похилого роз'єму не перешкоджає демонтажу поршня з шатуном через робочий циліндр. Шатуни дизельного двигуна General Motors 6.6L V8 Duramax серії LML (8ЧН 10,3/9,9) виготовлено куванням з спеціального легованого сплаву.

					КРБ.142.4227зст.25.06.01.ПЗ	Аркуш
						14
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		



Рисунок 1.5 – Шатунна група дизельного двигуна General Motors 6.6L V8 Duramax серії LML (8ЧН 10,3/9,9)

Дизель General Motors 6.6L V8 Duramax серії LML (8ЧН 10,3/9,9) має алюмінієву кришку робочих циліндрів (головку) з шістьма кріпильними болтами та чотирма робочими клапанами на кожен циліндр (рис. 1.6). Алюмінієвий сплав, що застосовується для кришки циліндрів сприяє зменшенню загальної ваги дизеля. Застосування шістьох болтів на циліндр цілком забезпечує високу міцність та герметичність робочого простору, що є обов'язковою умовою при застосуванні високого наддуву.



Рисунок 1.6 – Загальний вигляд кришки робочих циліндрів дизельного двигуна General Motors 6.6L V8 Duramax серії LML (8ЧН 10,3/9,9)

					КРБ.142.4227зст.25.06.01.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		15

У конструкції кришки робочих циліндрів дизельного двигуна General Motors 6.6L V8 Duramax серії LML (8ЧН 10,3/9,9) застосовано сучасну двошарову конструкцію водяного охолодження. Ця конструкція передбачає розділення порожнин пошарово, що створює більш жорстку структуру кришки циліндрів та забезпечує більш точне та ефективне циркулювання потоку охолоджуючої рідини.

Повітряні та газові канали у кришці циліндрів дизельного двигуна General Motors 6.6L V8 Duramax серії LML (8ЧН 10,3/9,9) спрофільовано таким чином, що безумовно сприяє посиленню потоку повітря. Посилення потоку сприяє збільшенню потужності самого двигуна та підвищенню його крутного моменту.

Дизель General Motors 6.6L V8 Duramax серії LML (8ЧН 10,3/9,9) має сучасну паливну систему, яка розрахована на робочий тиск у 200 МПа з пьезофорсунками (рис.1.7).

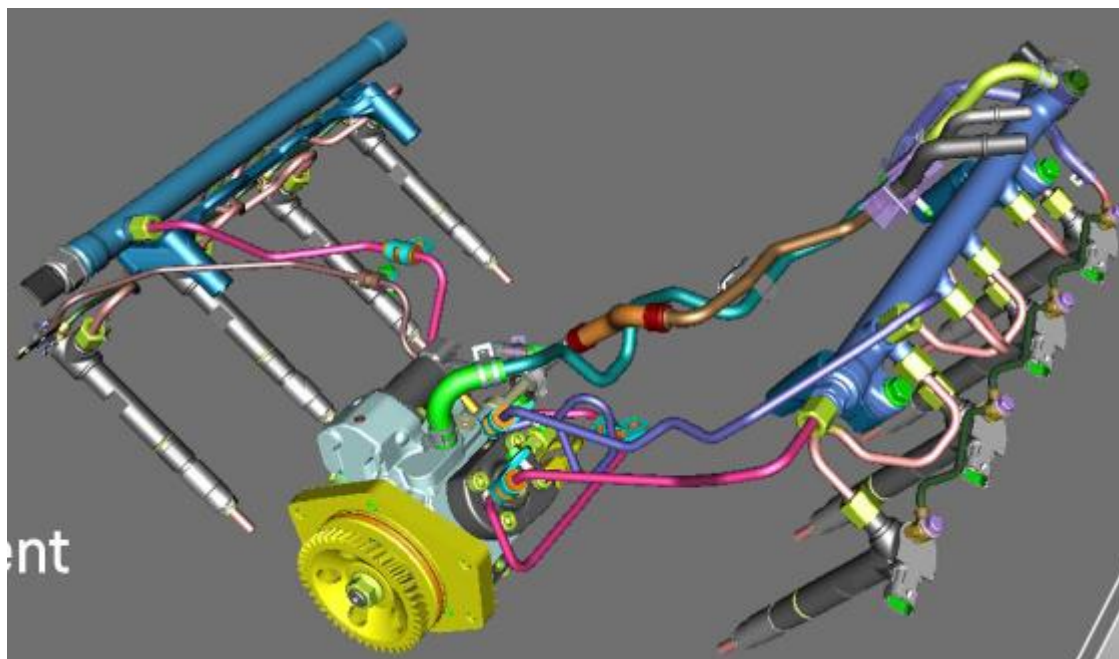


Рисунок 1.7 – Принциповий вигляд паливної системи дизельного двигуна General Motors 6.6L V8 Duramax серії LML (8ЧН 10,3/9,9)

На дизельному двигуні General Motors 6.6L V8 Duramax серії LML (8ЧН 10,3/9,9) встановлюється паливна система Common-Rail з новими пьезофорсунками електромагнітного типу. Високий тиск паливоподачі у 200 МПа позитивно сприяє якісному та рівномірному розпорошенню. Якісне розпилювання позитивно

відображається на процесі згоряння та сприяє зниженню викидів твердих частинок з ВГ.

Розпилювачі паливних форсунок оснащені сімома отворами. Також паливні форсунки підтримують ступеневе упорскування (до семи впорскувань палива на один робочий цикл). Таке ступеневе упорскування забезпечує зниження жорсткості згоряння відповідно й шумності роботи та зниженню шкідливих викидів з ВГ.

Система повітропостачання дизельного двигуна General Motors 6.6L V8 Duramax серії LML (8ЧН 10,3/9,9) укомплектована турбокомпресором із змінною геометрією. Загальний вигляд системи повітропостачання представлено на рис. 1.8.

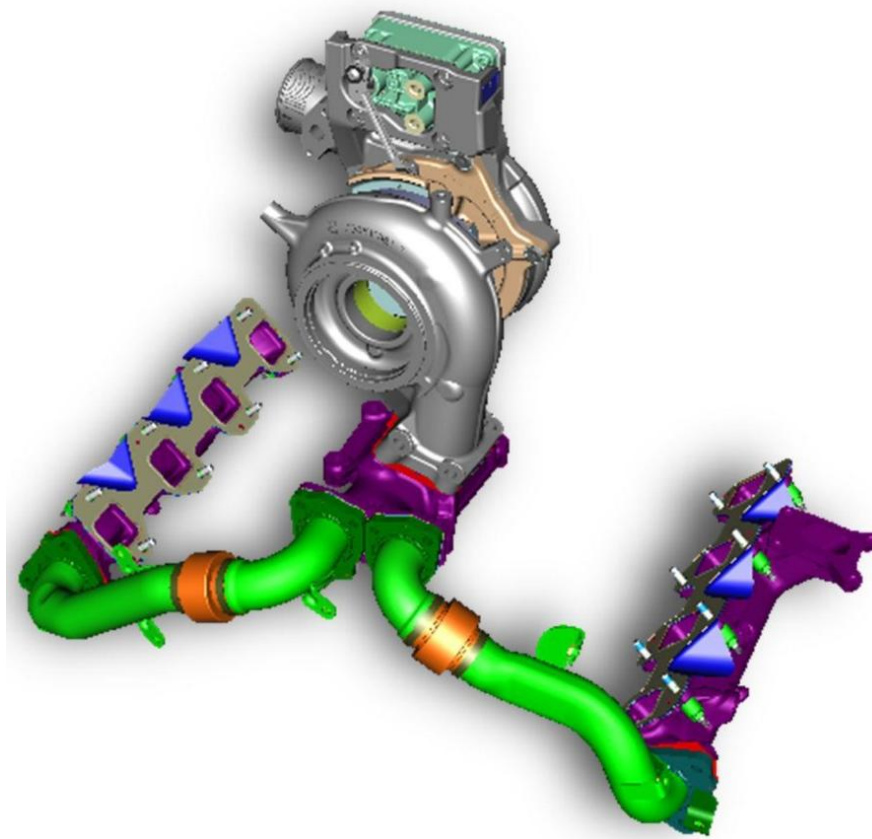


Рисунок 1.8 – Принциповий вигляд система повітропостачання дизельного двигуна General Motors 6.6L V8 Duramax серії LML (8ЧН 10,3/9,9)

На двигуні General Motors 6.6L V8 Duramax серії LML (8ЧН 10,3/9,9) встановлено турбокомпресор типу *GARRETT GT3788VA* з функцією регулювання лопаток (рис 1.9). Застосування *GARRETT GT3788VA* із змінною геометрією лопаток

забезпечує отримання на дизелі більшої потужності при менших викидах ВГ, при чому не відбувається зниження ефективності застосування енергії від згоряння.

Система повітропостачання дизельного двигуна General Motors 6.6L V8 Duramax серії LML (8ЧН 10,3/9,9) забезпечує на виході тиск свіжого повітря $p_k = 0,195$ МПа. Використання саморегулюючих лопаток турбіни та складних електронних пристроїв керування та автоматичного регулювання тиску свіжого повітря забезпечує мінімальні значення протитиску вихлопної системи та збільшення ефективності роботи самого двигуна.

Дизель General Motors 6.6L V8 Duramax серії LML (8ЧН 10,3/9,9) оснащено передовою системою контролювання шкідливих викидів з ВГ, що робить цей двигун порівняно екологічно чистим. Так зниження NO_x складає 63 % (для серії дизелів *LML*).

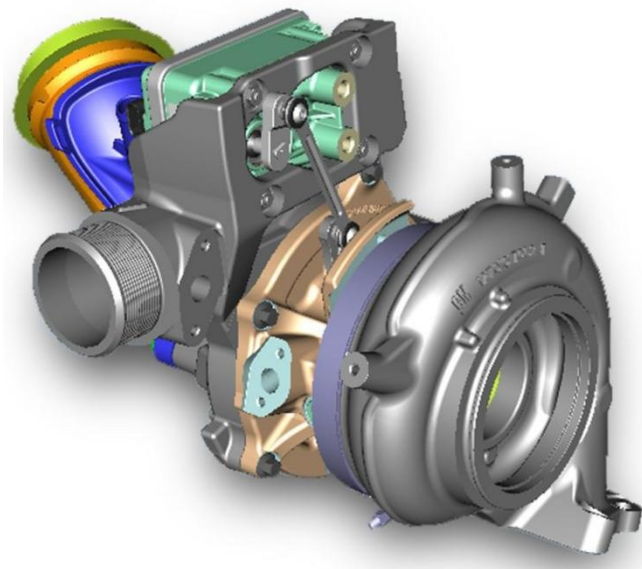


Рисунок 1.9 – Загальний вигляд турбокомпресора *GARRETT GT3788VA*

LML-версія дизельного двигуна General Motors 8ЧН 10,3/9,9 здатна працювати на альтернативному паливі. Зокрема на двигуні може застосовуватися біодизель марки *B20* (20 відсотків біодизеля та 80 відсотків звичайного ДП). Застосування *B20* сприяє зниженню викиди вуглекислого газу CO_2 й зменшенню залежність від видобувних нафтопродуктів. *B20* є поновлювальним паливом, виготовленим здебільшого з рослинних компонентів – здебільшого з масла сої.

1.2. Висновок до розділу

Автомобільний дизельний двигун General Motors 6.6L V8 Duramax серії LML (8ЧН 10,3/9,9) є сучасним, надійним, безвідмовним двигуном, що відповідає сучасним вимогам екологічності (особливо викидів окислів азоту NO_x).

Двигун General Motors 6.6L V8 має досить вдалу конструкцію яка дає перспективи до подальшого його форсування.

					<i>КРБ.142.4227зст.25.06.01.ПЗ</i>	Аркуш
						19
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2

РОЗРАХУНОК РОБОЧОГО ЦИКЛУ ТА ДИНАМІКИ АВТОМОБІЛЬНОГО ДВИГУНА ТИПУ 8ЧН 10,3/9,9 (GENERAL MOTORS 6.6L V-8 DURAMAX LML TURBO-DIESEL)

2.1. Розрахунок робочого циклу та побудова індикаторної діаграми автомобільного двигуна типу 8ЧН 10,3/9,9 (General Motors 6.6L V-8 Duramax LML Turbo-Diesel)

Тепловий розрахунок робочого циклу автомобільного двигуна типу 8ЧН 10,3/9,9 (General Motors 6.6L V-8 Duramax LML Turbo-Diesel) у роботі виконується з метою отримання основних параметрів та показників робочого процесу дизеля, що стануть основою для виконання наступних розділів роботи.

Незважаючи на певні спрощення дійсних процесів у розрахунковому циклі, методика професора В. І. Гриневецького забезпечує досить задовільну для практики інженерних розрахунків точність та збіжність. Це у моделі Гриневецького досягається шляхом введенням низки дослідних коефіцієнтів, що дозволяють врахувати реальні умови протікання основних процесів у циліндрі ДВЗ. Методика професора В. І. Гриневецького з часом була дещо вдосконалена та поточнена професором Є. К. Мазінгом, після чого і стала називатися методика розрахунку Гриневецького-Мазінга.

Методика теплового розрахунку ДВЗ Гриневецького-Мазінга дає змогу вирішити такі базові завдання:

1. Визначити усі параметри стану робочого тіла (тиск, температура) в характерних точках розрахункового циклу та побудувати індикаторну діаграму, максимально наближену до дійсної (експериментальної), яка є основою для динамічного розрахунку ДВЗ.

2. Встановити значення ряду параметрів, що характеризують якість протікання окремих процесів робочого циклу та продемонструвати вплив на них реальних факторів.

3. Визначити індикаторні та ефективні показники ДВЗ, що характеризують досконалість двигуна за часткою енергії палива, перетвореної на роботу і ефективність ДВЗ в цілому.

4. Визначити основні розміри ДВЗ – діаметр циліндра та хід поршня, за яких двигун може забезпечити одержання необхідних номінальної потужності при заданих обертах з врахуванням певної низки додаткових заданих параметрів проєктованого ДВЗ.

5. Для дизелів із газотурбінним наддувом отримати параметри робочого тіла в турбіні та компресорі, а також необхідні показники для реалізації газодинамічного розрахунку, визначення базових розмірів та профілювання проточної частини агрегату наддуву.

6. Результати виконаного теплового розрахунку ДВЗ є в основі розрахункового визначення частин зовнішнього теплового балансу двигуна, необхідних для проєктування насосів та охолоджувачів води (ВО) та мастила (МО), утилізаційних установок тощо.

Розрахунок робочого циклу автомобільного двигуна типу 8ЧН 10,3/9,9 (General Motors 6.6L V-8 Duramax LML Turbo-Diesel) за методикою Гриневецького-Мазінга було реалізовано у загальновідомому середовищі математичного програмування MathCAD.

Вихідні дані для моделювання робочого циклу автомобільного двигуна типу 8ЧН 10,3/9,9 (General Motors 6.6L V-8 Duramax LML Turbo-Diesel) систематизовано та згруповано у таблиці 2.1. Дані у таблиці взято з завдання на роботу, літератури з теорії ДВЗ та різних інструкцій з експлуатації та обслуговування даного дизеля.

Таблиця 2.1 – Вихідні дані для розрахунку циклу автомобільного двигуна типу 8ЧН 10,3/9,9 (General Motors 6.6L V-8 Duramax LML Turbo-Diesel)

№ з.п.	Параметр	Розмірність	Значення
1	Ефективна потужність	N_e , кВт	296,00
2	Частота обертання	n , хв ⁻¹	3000,00
3	Тиск навколишнього середовища	P_0 , МПа	0,10130
4	Температура навколишнього середовища	T_0 , К	298,00

5	Тиск наддуву	p_k , МПа	0,2870
6	Коефіцієнт продувки	Φ_a	1,0500
7	Коефіцієнт залишкових газів	γ_r	0,0250
8	Коефіцієнт використання тепла в точці z	ξ_z	0,730
9	Коефіцієнт використання тепла в точці b	ξ_b	0,960
10	Ступінь стиску	ε	16,000
11	Ступінь підвищення тиску при згорянні	λ	1,340
12	Підігрів заряду від стінок циліндру	ΔT_a , К	20,000
13	Частка ходу поршня втрачена на продувку	Φ_n	0,000
14	Коефіцієнт скруглення індикаторної діаграми	ζ	0,980
15	Механічний ККД двигуна	η_m	0,8330
16	Адіабатний ККД компресора	$\eta_{k.ad}$	0,820
17	Втрата тиску в повітроохолоджувачі	ΔP_{ox} , МПа	0,0020
18	ККД повітроохолоджувача	η_o	0,800
19	Температура залишкових газів	T_r , К	790,00
20	Масовий склад палива (кг/кг)	$C/ H/ S /O$	0,870/0,126 /0/ 0,0040
21	Нижча теплота згоряння палива	$Q_{нз}$, кДж/кг	42700,000
22	Кількість циліндрів	i	8
23	Діаметр циліндра	D_u , м	0,1023
24	Хід поршня	S_n , м	0,099
25	Коефіцієнт тактності	z	0,5
26	Коефіцієнт надлишку повітря для згоряння	α	1,68482
27	Показник адіабати повітря	k_b	1,400
28	Адіабатний ККД турбіни	$\eta_{t.ad}$	0,805
29	Механічний ККД турбіни	$\eta_{t.m}$	0,880
30	Коефіцієнт втрат тиску на впуску	ξ_a	0,980
31	Відношення тисків перед турбіною до тиску за компресором	Ψ_t	0,7155

Розрахунок наповнення циліндру автомобільного двигуна типу 8ЧН 10,3/9,9 (General Motors 6.6L V-8 Duramax LML Turbo-Diesel) виконано у MathCAD, а результати представлено у табличній формі – табл. – 2.2.

Таблиця 2.2 – Процес наповнення автомобільного двигуна типу 8ЧН 10,3/9,9 (General Motors 6.6L V-8 Duramax LML Turbo-Diesel)

№ з/п	Найменування	Розмірність	Формула для розрахунку	Значення
1	Температура повітря за компресором	T_k , К	$T_k = T_0 \cdot \left[1 + \frac{\left(\frac{P_k}{P_0} \right)^{0.286} - 1}{\eta_{k.ad}} \right]$	424,0850
2	Температура повітря перед двигуном	T_s , К	$T_s = T_k - \eta_o \cdot (T_k - T_w)$	324,817000
3	Температура заряду наприкінці процесу наповнення	T_a , К	$T_a = \frac{T_s + \Delta T_a + \gamma_r \cdot T_r}{1 + \gamma_r}$	355,67500

4	Тиск повітря перед двигуном	P_s , МПа	$P_s = P_k - \Delta P_{ox}$	0,2850011
5	Тиск заряду наприкінці процесу наповнення	P_a , МПа	$P_a = \xi_a \cdot P_s$	0,2790021
6	Коефіцієнт наповнення циліндру	η_n	$\eta_n = \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \cdot \frac{P_a}{P_s} \cdot \frac{T_s}{T_a} \cdot \frac{1}{1 + \gamma_r} \cdot (1 - \phi_n)$	0,9310101

Розрахунок процесу стиснення автомобільного двигуна типу 8ЧН 10,3/9,9 (General Motors 6.6L V-8 Duramax LML Turbo-Diesel) виконано у MathCAD, а результати представлено у табличній формі – табл. – 2.3.

Таблиця 2.3 – Розрахунок процесу стиснення автомобільного двигуна типу 8ЧН 10,3/9,9 (General Motors 6.6L V-8 Duramax LML Turbo-Diesel)

№ з/п	Найменування	Розмірність	Формула для розрахунку	Значення
1	Середня мольна ізохорна теплоємність свіжого повітря	$c'_{v,}$ кДж/(кмоль·К)	$c'_{v,} = 19.26 + 0.0025 \cdot T$	–
2	Середня мольна ізохорна теплоємність чистих ВГ	$c''_{v,}$ кДж/(кмоль·К)	$c''_{v,} = 20.47 + 0.0036 \cdot T$	–
3	Теплоємність суміші повітря та ВГ на ході стиску	$c''_{vc,}$ кДж/(кмоль·К)	$c''_{vc} = \frac{\gamma_r \cdot c''_{v,} + [\alpha \cdot (1 + \gamma_r) - \gamma_r] \cdot c'_{v,}}{\alpha \cdot (1 + \gamma_r)} =$ $= a_{vc} - b_c \cdot T$ $b_c = 0,0025150010; a_{vc} = 19,276000001$	–
4	Середній показник політропи стиску	n_1	$n_1 - 1 = \frac{8.13}{a_{vc} + b_c \cdot T_a \cdot \left(1 + \varepsilon^{n_1-1}\right)}$	1,360000010
5	Тиск наприкінці стиску	P_c , МПа	$P_c = P_a \cdot \varepsilon^{n_1}$	12,11801010
6	Температура наприкінці стиску	T_c , К	$T_c = T_a \cdot \varepsilon^{n_1-1}$	964,4990501

Розрахунок процесу згоряння автомобільного двигуна типу 8ЧН 10,3/9,9 (General Motors 6.6L V-8 Duramax LML Turbo-Diesel) виконано у програмі MathCAD, а результати представлено у табличній формі – табл. – 2.4.

Таблиця 2.4 – Розрахунок процесу згоряння палива у циліндрі автомобільного двигуна типу 8ЧН 10,3/9,9 (General Motors 6.6L V-8 Duramax LML Turbo-Diesel)

№ з/п	Найменування	Розмірність	Формула для розрахунку	Значення
1	Кількість повітря	L , кмоль/кг	$L = \frac{\alpha}{0.21} \cdot \left(\frac{C}{12} + \frac{H}{4} + \frac{S}{32} - \frac{O}{32} \right)$	0,91400
2	Хімічний коефіцієнт молекулярної зміни	β_0	$\beta_0 = 1 + \frac{8 \cdot H + O}{32 \cdot L}$	1,034600
3	Дійсний коефіцієнт молекулярної зміни	β	$\beta = \frac{\beta_0 + \gamma_r}{1 + \gamma_r}$	1,033700
4	Частка палива, яка згоріла в точці z	x_z	$x_z = \frac{\xi_z}{\xi_b}$	0,760010
5	Коефіцієнт молекулярної зміни в точці z	β_z	$\beta_z = 1 + \left(\frac{\beta_0 - 1}{1 + \gamma_r} \right) \cdot x_z$	1,026081
6	Теоретична кількість повітря	L_0 , кмоль/кг	$L_0 = \frac{1}{0.21} \left(\frac{C}{12} + \frac{H}{4} + \frac{S}{32} - \frac{O}{32} \right)$	0,495000
7	Приріст об'єму продуктів згоряння	ΔM	$\Delta M = \left(\frac{H}{4} + \frac{O}{32} \right)$	0,031600
8	Середня мольна ізохорна теплоємність у z	c''_{vz} , кДж/(кмоль·К)	$c''_{vz} = \frac{(m \cdot x_z + \gamma_r) \cdot c''_v + [\alpha \cdot (1 + \gamma_r) - (x_z + \gamma_r)] \cdot c'_v}{\alpha \cdot (1 + \gamma_r) + (m - 1) \cdot x_z} =$ $= a_{vz} + b_z \cdot T$ $a_{vz} = 19,779370000001; b_z = 0,002970000001$	—
9	Середня мольна ізохорна теплоємність у b	c_{vb} , кДж/(кмоль·К)	$c_{vb} = \frac{(m + \gamma_r) \cdot c''_v + (\alpha - 1) \cdot (1 + \gamma_r) \cdot c'_v}{\alpha \cdot (1 + \gamma_r) + (m - 1)} =$ $= a_{vb} + b_b \cdot T$ $a_{vb} = 19,932810000001; b_b = 0,003112000001$	—
10	Максимальна температура	T_z , К	$\frac{\xi_z \cdot Q_H}{\alpha \cdot L_0} + [c'_v + 8.314 \cdot \lambda + \gamma_r \cdot (c''_v + 8.314 \cdot \lambda)] \cdot T_c =$ $= \beta_z \cdot (1 + \gamma_r) \cdot c''_{pz} \cdot T_z$	1879,903
11	Максимальний тиск	P_z , МПа	$P_z = \lambda \cdot P_c$	16,23800

Розрахунок процесу розширення автомобільного двигуна типу 8ЧН 10,3/9,9 (General Motors 6.6L V-8 Duramax LML Turbo-Diesel) виконано у програмі MathCAD, а результати представлено у табличній формі – табл. – 2.5.

Таблиця 2.5 – Розрахунок процесу розширення автомобільного двигуна типу 8ЧН 10,3/9,9 (General Motors 6.6L V-8 Duramax LML Turbo-Diesel)

№ з/п	Найменування	Розмірність	Формула для розрахунку	Значення
1	Ступінь попереднього розширення	ρ	$\rho = \frac{\beta_z}{\lambda} \cdot \frac{T_z}{T_c}$	1,492000
2	Ступінь наступного розширення	δ	$\delta = \frac{\varepsilon}{\rho}$	10,72500
3	Показник політропи розширення	n_2	$n_2 = \frac{8.314 \cdot \left(\frac{\beta_z}{\beta} \cdot T_z - T_b \right)}{\frac{Q_H \cdot (\xi_b - \xi_z)}{L \cdot (1 + \gamma_f) \cdot \beta} + \frac{\beta_z}{\beta} \cdot (a_{bz} + b_z \cdot T_z) \cdot T_z - (a_{bb} + b_b \cdot T_b) \cdot T_b} + 1$	1,191000
4	Температура наприкінці процесу	T_b , К	$T_b = T_z \cdot \frac{1}{\delta^{n_2-1}}$	1195,293
5	Тиск наприкінці процесу	P_b , МПа	$P_b = \frac{P_z}{\delta^{n_2}}$	0,96300

Розрахунок індикаторних та ефективних показників автомобільного двигуна типу 8ЧН 10,3/9,9 (General Motors 6.6L V-8 Duramax LML Turbo-Diesel) виконано у програмі MathCAD, а результати представлено у табличній формі – табл. – 2.6.

Таблиця 2.6 – Індикаторні та ефективні показники автомобільного двигуна типу 8ЧН 10,3/9,9 (General Motors 6.6L V-8 Duramax LML Turbo-Diesel)

№ з/п	Найменування	Розмірність	Формула для розрахунку	Значення
1	Теоретичний середній індикаторний тиск	P'_i , МПа	$P'_i = \frac{P_c}{\varepsilon - 1} \cdot \left[\lambda \cdot (\rho - 1) + \frac{\lambda \cdot \rho}{n_2 - 1} \cdot \left(1 - \frac{1}{\delta^{n_2-1}} \right) - \frac{1}{n_1 - 1} \cdot \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_1-1}} \right) \right]$	2,19700
2	Дійсний середній індикаторний тиск	P_i , МПа	$P_i = P'_i \cdot \zeta \cdot (1 - \phi_n)$	2,153000
3	Індикаторна питома витрата палива	g_i , кг/(кВт·год)	$b_i = 433 \cdot \frac{P_s \cdot \eta_H}{\alpha \cdot L_0 \cdot T_s \cdot P_i}$	0,18000
4	Індикаторний ККД	η_i	$\eta_i = \frac{3600}{b_i \cdot Q_H}$	0,469000
5	Середній ефективний тиск	P_e , МПа	$P_e = P_i \cdot \eta_m$	1,793001
6	Ефективний ККД двигуна	η_e	$\eta_e = \eta_i \cdot \eta_m$	0,391001
7	Питома ефективна витрата палива	g_e , кг/(кВт·год)	$b_e = \frac{b_i}{\eta_m}$	0,21570
8	Ефективна потужність двигуна	N_e кВт	$N_e = 13.1 \cdot D_c^2 \cdot S_c \cdot z \cdot P_e \cdot n \cdot i$	296,085

9	Похибка визначення потужності	$\Delta N, \%$	$\Delta N = \frac{N_e - N'_e}{N_e}$	0,00290
---	-------------------------------	----------------	-------------------------------------	---------

Розрахунок балансу турбокомпресора автомобільного двигуна типу 8ЧН 10,3/9,9 (General Motors 6.6L V-8 Duramax LML Turbo-Diesel) виконано у програмі MathCAD, а результати представлено у табличній формі – табл. – 2.7.

Таблиця 2.7 – Розрахунок балансу турбокомпресора автомобільного двигуна типу 8ЧН 10,3/9,9 (General Motors 6.6L V-8 Duramax LML Turbo-Diesel)

№ з/п	Найменування	Розмірність	Формула для розрахунку	Значення
1	Витрата повітря	$G, \text{кг/с}$	$G = \left(\frac{\pi \cdot D_c^2}{4} \right) \cdot S_c \cdot \left(\frac{P_s \cdot 10^6}{R \cdot T_s} \right) \cdot \eta_H \cdot i \cdot z \cdot \left(\frac{n}{60} \right) \cdot \phi_a$	0,49300
2	Витрата ВГ	$G_t, \text{кг/с}$	$G_t = G + b_e \cdot \frac{N_e}{3600}$	0,511000
3	Тиск ВГ перед турбіною	$P_r, \text{МПа}$	$P_r = \psi_t \cdot P_k$	0,205002
4	Температура газу перед турбіною	$T_t, \text{К}$	$T_t = T_b \cdot \left(\frac{P_r}{P_b} \right)^{\frac{n_2-1}{n_2}}$	933,1060
5	Загальна кількість ВГ	$M_s, \text{кмоль}$	$M_s = \left(\frac{C}{12} \right) + \left(\frac{H}{2} \right) + [0.21 \cdot (\alpha - 1) \cdot L_0] + (0.79 \cdot \alpha \cdot L_0)$	0,946002
6	Універсальна газова стала для ВГ	$R_t, \text{Дж/кг} \cdot \text{К}$	$R_t = \frac{1}{\frac{C}{12 \cdot M_s \cdot 189} + \frac{H}{2 \cdot M_s \cdot 461.6} + \frac{0.21 \cdot (\alpha - 1) \cdot L_0}{M_s \cdot 259.8} + \frac{0.79 \cdot \alpha \cdot L_0}{M_s \cdot 296.8}}$	287,2640
7	Показник адіабати розширення ВГ в турбіні	k_t	$k_t = \frac{(a_{vb} + b_b \cdot T_t) + 8.314}{a_{vb} + b_b \cdot T_t}$	1,36400101
8	Дійсний ступінь підвищення тиску в компресорі	Π_k	$\Pi_k = \left[\frac{\left(\frac{k_t}{k_t - 1} \right) \cdot R_t \cdot T_t \cdot \left[1 - \frac{1}{\left(\frac{P_r}{P_0} \right)^{\frac{1}{k_t}}} \right] \cdot \eta_{t.m} \cdot \eta_{t.ad} \cdot G_t}{G \cdot R \cdot T_0 \cdot \left(\frac{k_b}{k_b - 1} \right) \cdot \frac{1}{\eta_{k.ad}}} \right]^{\frac{1}{0.286}}$	2,83400
9	Дійсний тиск наддуву	$P_{kd}, \text{МПа}$	$P_{kd} = \Pi_k \cdot P_0$	0,28710
10	Похибка визначення тиску наддуву	$\Delta P_k, \%$	$\Delta P_k = \frac{P_{kd} - P_k}{P_{kd}}$	0,021000

За результатом теплового розрахунку автомобільного двигуна типу 8ЧН 10,3/9,9 (General Motors 6.6L V-8 Duramax LML Turbo-Diesel), використовуючи

					КРБ.142.4227зст.25.06.02.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		26

залежності – $p = \frac{p_c}{\left(\frac{V}{V_c}\right)^{n_1}}$ і $p = \frac{p_z \cdot \rho^{n_2}}{\left(\frac{V}{V_c}\right)^{n_2}}$, розраховується (табл. 2.8, 2.9) та будується ін-

дикаторна діаграма у $p-V/V_c$ координатах (рис. 2.1). Координати розраховуються з використанням програми реалізованої у Microsoft Excel.

Таблиця 2.8 – Початкові дані розрахунку $p-V/V_c$ діаграми двигуна типу 8ЧН 10,3/9,9 (General Motors 6.6L V-8 Duramax LML Turbo-Diesel)

Параметри розрахунку											
P_r , МПа	P_a , МПа	P_s , МПа	P_k , МПа	P_b , МПа	P_c , МПа	P_z , МПа	n_1	n_2	ρ	δ	ε
0,205	0,279	0,285	0,287	0,963	12,118	16,238	1,36	1,191	1,492	10,725	16

Таблиця 2.9 – Координати $p - V/V_c$ діаграми двигуна типу 8ЧН 10,3/9,9 (General Motors 6.6L V-8 Duramax LML Turbo-Diesel)

№ з.п.	Координати $p-V/V_c$ діаграми		
	(V/V_c)	$P_{стис.}$, МПа	$P_{розш.}$, МПа
1	1	12,118	16,238
2	1,492	7,032429	16,238
3	2,255579	4,008667	9,925694
4	3,019158	2,696412	7,0137
5	3,782737	1,984333	5,361967
6	4,546316	1,545304	4,307434
7	5,309895	1,251164	3,580254
8	6,073474	1,042213	3,050827
9	6,837053	0,887175	2,64949
10	7,600632	0,768202	2,335604
11	8,364211	0,674424	2,08393
12	9,127789	0,598872	1,878001
13	9,891368	0,536886	1,706636
14	10,65495	0,485245	1,561988
15	11,41853	0,441653	1,438393
16	12,18211	0,404435	1,331668
17	12,94568	0,372341	1,238655
18	13,70926	0,344423	1,156931
19	14,47284	0,319947	1,084605
20	15,23642	0,298339	1,020182
21	16	0,279144	0,962464

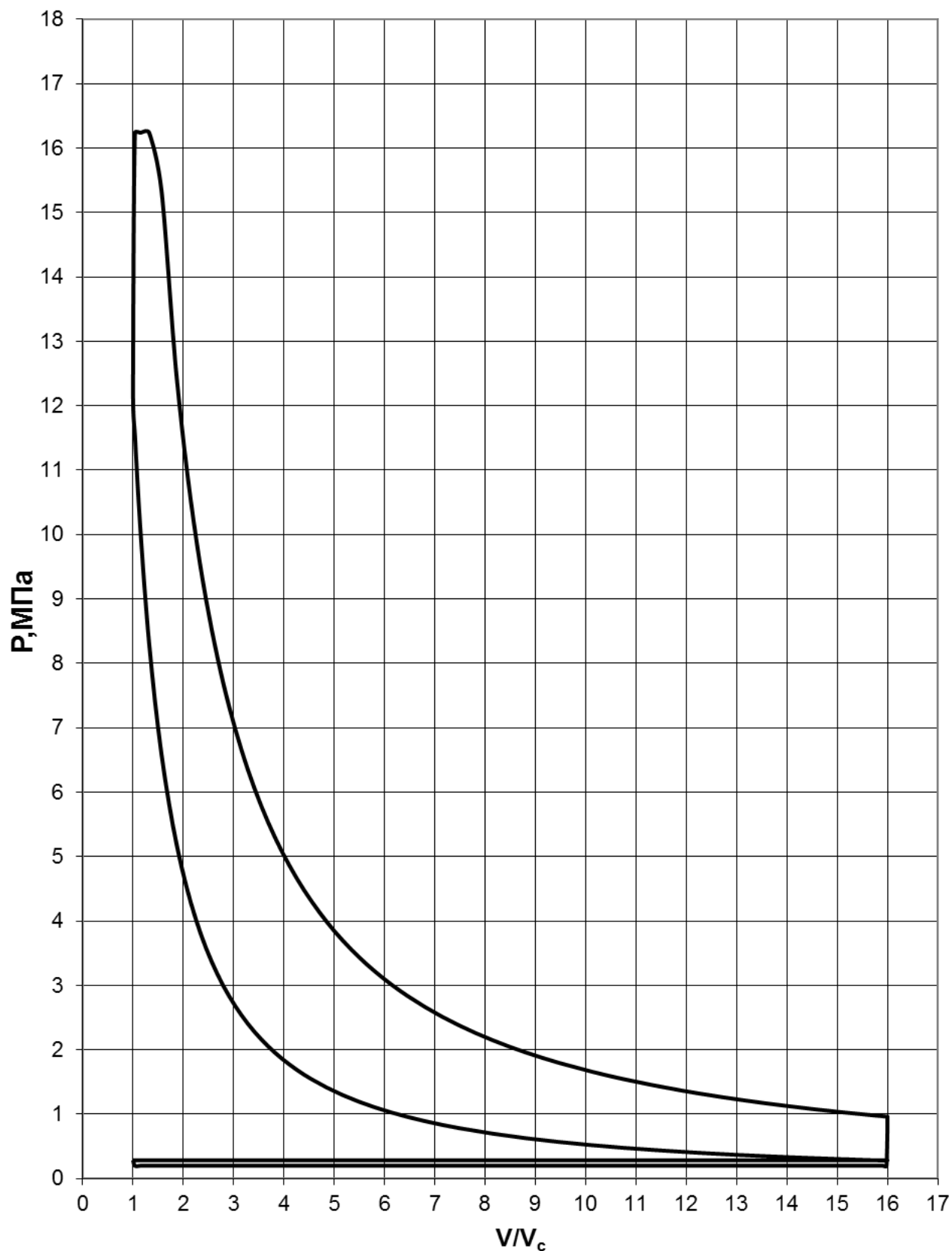


Рисунок 2.1 – Індикаторна діаграма двигуна типу 8ЧН 10,3/9,9 (General Motors 6.6L V-8 Duramax LML Turbo-Diesel)

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

КРБ.142.4227зст.25.06.02.ПЗ

Аркуш

28

За результатом теплового розрахунку автомобільного двигуна типу 8ЧН 10,3/9,9 (General Motors 6.6L V-8 Duramax LML Turbo-Diesel), використовуючи залежності $-T = \frac{T_c}{\left(\frac{V}{V_c}\right)^{n_1-1}}$, $T = \frac{T_z}{\delta^{n_2-1}}$ та $T_y = T_c \lambda$, розраховується (табл. 2.10, 2.11) та

будується індикаторна діаграма у $T - V/V_c$ координатах (рис. 2.2). Координати розраховуються з використанням програми реалізованої у Microsoft Excel.

Таблиця 2.10 – Початкові дані розрахунку $T - V/V_c$ діаграми двигуна типу 8ЧН 10,3/9,9 (General Motors 6.6L V-8 Duramax LML Turbo-Diesel)

Параметри для розрахунку							
T_r , К	T_a , К	T_s , К	T_k , К	T_b , К	T_c , К	T_z , К	λ
933,106	355,675	324,817	424,085	1195,293	964,499	1879,903	1,34

Таблиця 2.11 – Координати точок $T - V/V_c$ діаграми двигуна типу 8ЧН 10,3/9,9 (General Motors 6.6L V-8 Duramax LML Turbo-Diesel)

№ з.п.	Координати точок $T - V/V_c$ діаграми		
	(V/V_c)	$T_{ст}$, К	$T_{розш}$, К
1	1	964,499	1292,429
2	1,492	835,1125	1879,903
3	2,255579	719,6625	1737,213
4	3,019158	647,9521	1643,112
5	3,782737	597,4363	1573,854
6	4,546316	559,1706	1519,541
7	5,309895	528,7749	1475,142
8	6,073474	503,8072	1437,768
9	6,837053	482,7797	1405,612
10	7,600632	464,7249	1377,473
11	8,364211	448,9819	1352,515
12	9,127789	435,081	1330,134
13	9,891368	422,6778	1309,879
14	10,65495	411,5128	1291,407
15	11,41853	401,3859	1274,447
16	12,18211	392,1405	1258,787
17	12,94568	383,6514	1244,255
18	13,70926	375,8172	1230,71
19	14,47284	368,5551	1218,034
20	15,23642	361,7961	1206,131
21	16	355,4828	1194,919

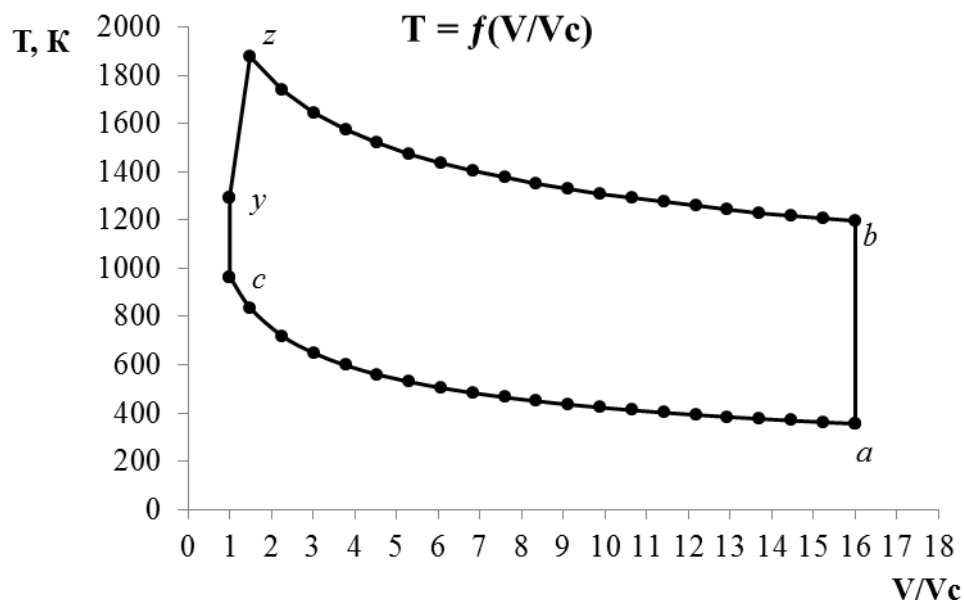


Рисунок 2.2 – Індикаторна ($T - V/V_c$) діаграма двигуна типу 8ЧН 10,3/9,9 (General Motors 6.6L V-8 Duramax LML Turbo-Diesel)

За результатом теплового розрахунку автомобільного двигуна типу 8ЧН 10,3/9,9 (General Motors 6.6L V-8 Duramax LML Turbo-Diesel), використовуючи залежності –

$$S = \left[c_{p_i} \cdot \ln \left(\frac{T_{cж}}{T_0} \right) - R \cdot \ln \left(\frac{p_{cж}}{p_0} \right) \right], \quad S = \left[c_{p_i} \cdot \ln \left(\frac{T_{раси}}{T_0} \right) - R \cdot \ln \left(\frac{p_{раси}}{p_0} \right) \right]$$

та будується індикаторна діаграма у $T - S$ координатах (рис. 2.3). Координати розраховуються з використанням програми реалізованої у Microsoft Excel.

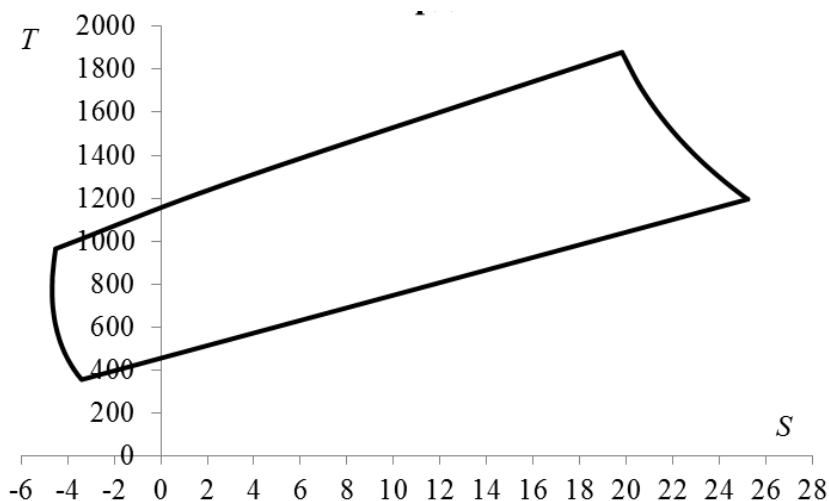


Рисунок 2.3 – Індикаторна ($T - S$) діаграма двигуна типу 8ЧН 10,3/9,9 (General Motors 6.6L V-8 Duramax LML Turbo-Diesel)

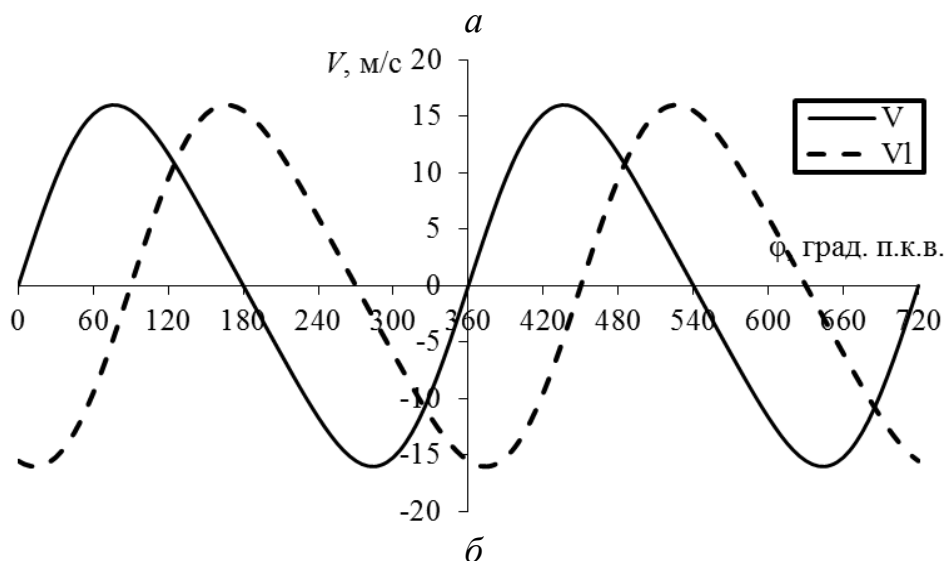
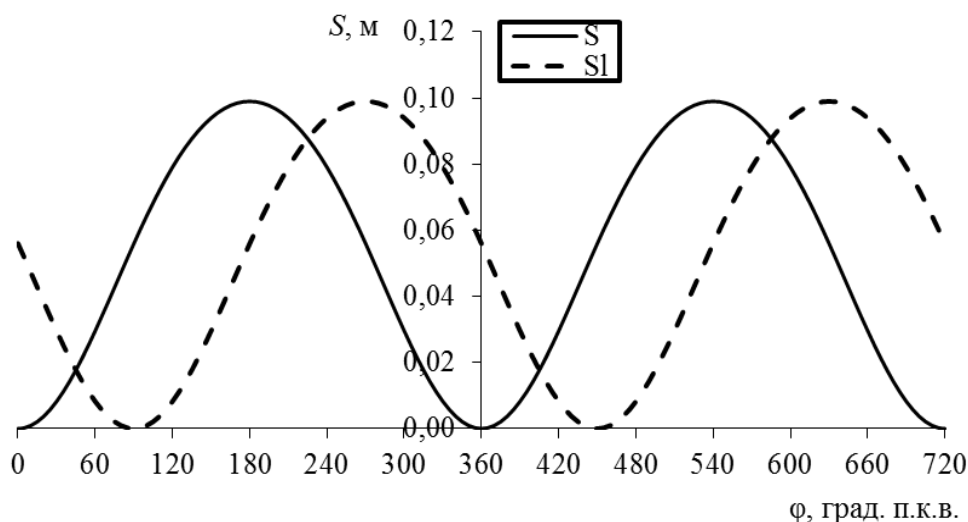
2.2. Розрахунок кінематики та динаміки автомобільного двигуна типу 8ЧН 10,3/9,9 (General Motors 6.6L V-8 Duramax LML Turbo-Diesel)

Розрахунок кінематики двигуна типу 8ЧН 10,3/9,9 (General Motors 6.6L V-8 Duramax LML Turbo-Diesel) полягає у визначенні залежностей переміщення поршня $S^\varphi = f(\varphi)$, швидкості $V^\varphi = f(\varphi)$, а також прискорення $J^\varphi = f(\varphi)$, які визначаються за наступними залежностями:

$$S_\varphi = r \cdot \left[(1 - \cos \varphi) + \left(\frac{1}{\lambda} \right) \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \lambda^2 \cdot \sin^2 \varphi} \right) \right]; -V_\varphi = r \cdot \omega \cdot \frac{\sin(\varphi + \beta)}{\cos \beta};$$

$$j_\varphi = r \cdot \omega \cdot \left[\frac{\cos(\varphi + \beta)}{\cos \beta} + \lambda \cdot \frac{\cos^2 \varphi}{\cos^3 \beta} \right].$$

Результати розрахунку кінематики двигуна типу 8ЧН 10,3/9,9 (General Motors 6.6L V-8 Duramax LML Turbo-Diesel) подано у табл. 2.12, а самі залежності побудовані за цими даними – на рис. 2.4.



Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

КРБ.142.4227зст.25.06.02.ПЗ

Аркуш

31

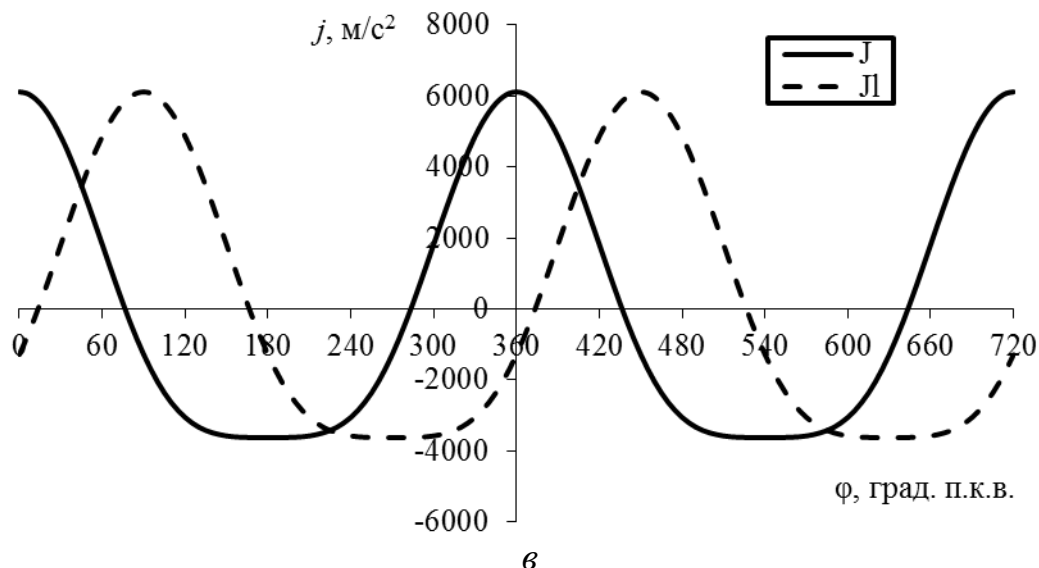


Рисунок 2.4 – Діаграми кінематики двигуна типу 8ЧН 10,3/9,9 (General Motors 6.6L V-8 Duramax LML Turbo-Diesel):

$$a - S^{\varphi} = f(\varphi); \quad \delta - V^{\varphi} = f(\varphi); \quad \epsilon - J^{\varphi} = f(\varphi)$$

Таблиця 2.12 – Координати точок діаграм кінематики двигуна типу 8ЧН 10,3/9,9 (General Motors 6.6L V-8 Duramax LML Turbo-Diesel)

φ°	$S, \text{ м}$	s	$V, \text{ м/с}$	$j, \text{ м/с}^2$	$S_b, \text{ м}$	s_l	$V_b, \text{ м/с}$	$j_b, \text{ м/с}^2$
0	0,000	0,000	0,000	6116,549	0,056	0,000	-15,531	-1285,377
5	0,000	0,005	1,699	6080,015	0,052	0,005	-15,829	-840,142
10	0,001	0,019	3,378	5970,998	0,047	0,019	-15,998	-357,851
15	0,002	0,043	5,016	5791,251	0,043	0,043	-16,028	156,078
20	0,004	0,075	6,595	5543,679	0,038	0,075	-15,911	694,931
25	0,006	0,117	8,096	5232,323	0,034	0,117	-15,642	1250,905
30	0,008	0,166	9,502	4862,313	0,030	0,166	-15,216	1815,364
35	0,011	0,223	10,797	4439,820	0,025	0,223	-14,633	2379,116
40	0,014	0,287	11,969	3971,965	0,021	0,287	-13,895	2932,709
45	0,018	0,358	13,004	3466,710	0,018	0,358	-13,004	3466,710
50	0,021	0,433	13,895	2932,709	0,014	0,433	-11,969	3971,965
55	0,025	0,514	14,633	2379,116	0,011	0,514	-10,797	4439,820
60	0,030	0,598	15,216	1815,364	0,008	0,598	-9,502	4862,313
65	0,034	0,684	15,642	1250,905	0,006	0,684	-8,096	5232,323
70	0,038	0,773	15,911	694,931	0,004	0,773	-6,595	5543,679
75	0,043	0,863	16,028	156,078	0,002	0,863	-5,016	5791,251
80	0,047	0,953	15,998	-357,851	0,001	0,953	-3,378	5970,998
85	0,052	1,043	15,829	-840,142	0,000	1,043	-1,699	6080,015
90	0,056	1,131	15,531	-1285,377	0,000	1,131	0,000	6116,549
95	0,060	1,217	15,115	-1689,573	0,000	1,217	1,699	6080,015
100	0,064	1,300	14,593	-2050,248	0,001	1,300	3,378	5970,998
105	0,068	1,381	13,976	-2366,406	0,002	1,381	5,016	5791,251
110	0,072	1,457	13,278	-2638,442	0,004	1,457	6,595	5543,679
115	0,076	1,530	12,510	-2867,987	0,006	1,530	8,096	5232,323
120	0,079	1,598	11,685	-3057,701	0,008	1,598	9,502	4862,313
125	0,082	1,661	10,811	-3211,035	0,011	1,661	10,797	4439,820

130	0,085	1,719	9,901	-3331,983	0,014	1,719	11,969	3971,965
135	0,088	1,772	8,960	-3424,845	0,018	1,772	13,004	3466,710
140	0,090	1,820	7,998	-3494,004	0,021	1,820	13,895	2932,709
145	0,092	1,862	7,019	-3543,743	0,025	1,862	14,633	2379,116
150	0,094	1,898	6,029	-3578,083	0,030	1,898	15,216	1815,364
155	0,096	1,929	5,031	-3600,671	0,034	1,929	15,642	1250,905
160	0,097	1,955	4,029	-3614,687	0,038	1,955	15,911	694,931
165	0,098	1,975	3,023	-3622,788	0,043	1,975	16,028	156,078
170	0,098	1,989	2,016	-3627,067	0,047	1,989	15,998	-357,851
175	0,099	1,997	1,008	-3629,028	0,052	1,997	15,829	-840,142
180	0,099	2,000	0,000	-3629,581	0,056	2,000	15,531	-1285,377
185	0,099	1,997	-1,008	-3629,028	0,060	1,997	15,115	-1689,573
190	0,098	1,989	-2,016	-3627,067	0,064	1,989	14,593	-2050,248
195	0,098	1,975	-3,023	-3622,788	0,068	1,975	13,976	-2366,406
200	0,097	1,955	-4,029	-3614,687	0,072	1,955	13,278	-2638,442
205	0,096	1,929	-5,031	-3600,671	0,076	1,929	12,510	-2867,987
210	0,094	1,898	-6,029	-3578,083	0,079	1,898	11,685	-3057,701
215	0,092	1,862	-7,019	-3543,743	0,082	1,862	10,811	-3211,035
220	0,090	1,820	-7,998	-3494,004	0,085	1,820	9,901	-3331,983
225	0,088	1,772	-8,960	-3424,845	0,088	1,772	8,960	-3424,845
230	0,085	1,719	-9,901	-3331,983	0,090	1,719	7,998	-3494,004
235	0,082	1,661	-10,811	-3211,035	0,092	1,661	7,019	-3543,743
240	0,079	1,598	-11,685	-3057,701	0,094	1,598	6,029	-3578,083
245	0,076	1,530	-12,510	-2867,987	0,096	1,530	5,031	-3600,671
250	0,072	1,457	-13,278	-2638,442	0,097	1,457	4,029	-3614,687
255	0,068	1,381	-13,976	-2366,406	0,098	1,381	3,023	-3622,788
260	0,064	1,300	-14,593	-2050,248	0,098	1,300	2,016	-3627,067
265	0,060	1,217	-15,115	-1689,573	0,099	1,217	1,008	-3629,028
270	0,056	1,131	-15,531	-1285,377	0,099	1,131	0,000	-3629,581
275	0,052	1,043	-15,829	-840,142	0,099	1,043	-1,008	-3629,028
280	0,047	0,953	-15,998	-357,851	0,098	0,953	-2,016	-3627,067
285	0,043	0,863	-16,028	156,078	0,098	0,863	-3,023	-3622,788
290	0,038	0,773	-15,911	694,931	0,097	0,773	-4,029	-3614,687
295	0,034	0,684	-15,642	1250,905	0,096	0,684	-5,031	-3600,671
300	0,030	0,598	-15,216	1815,364	0,094	0,598	-6,029	-3578,083
305	0,025	0,514	-14,633	2379,116	0,092	0,514	-7,019	-3543,743
310	0,021	0,433	-13,895	2932,709	0,090	0,433	-7,998	-3494,004
315	0,018	0,358	-13,004	3466,710	0,088	0,358	-8,960	-3424,845
320	0,014	0,287	-11,969	3971,965	0,085	0,287	-9,901	-3331,983
325	0,011	0,223	-10,797	4439,820	0,082	0,223	-10,811	-3211,035
330	0,008	0,166	-9,502	4862,313	0,079	0,166	-11,685	-3057,701
335	0,006	0,117	-8,096	5232,323	0,076	0,117	-12,510	-2867,987
340	0,004	0,075	-6,595	5543,679	0,072	0,075	-13,278	-2638,442
345	0,002	0,043	-5,016	5791,251	0,068	0,043	-13,976	-2366,406
350	0,001	0,019	-3,378	5970,998	0,064	0,019	-14,593	-2050,248
355	0,000	0,005	-1,699	6080,015	0,060	0,005	-15,115	-1689,573
360	0,000	0,000	0,000	6116,549	0,056	0,000	-15,531	-1285,377
365	0,000	0,005	1,699	6080,015	0,052	0,005	-15,829	-840,142
370	0,001	0,019	3,378	5970,998	0,047	0,019	-15,998	-357,851
375	0,002	0,043	5,016	5791,251	0,043	0,043	-16,028	156,078
380	0,004	0,075	6,595	5543,679	0,038	0,075	-15,911	694,931
385	0,006	0,117	8,096	5232,323	0,034	0,117	-15,642	1250,905
390	0,008	0,166	9,502	4862,313	0,030	0,166	-15,216	1815,364

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

КРБ.142.4227 зм. 25.06.02.ПЗ

Аркуш

33

395	0,011	0,223	10,797	4439,820	0,025	0,223	-14,633	2379,116
400	0,014	0,287	11,969	3971,965	0,021	0,287	-13,895	2932,709
405	0,018	0,358	13,004	3466,710	0,018	0,358	-13,004	3466,710
410	0,021	0,433	13,895	2932,709	0,014	0,433	-11,969	3971,965
415	0,025	0,514	14,633	2379,116	0,011	0,514	-10,797	4439,820
420	0,030	0,598	15,216	1815,364	0,008	0,598	-9,502	4862,313
425	0,034	0,684	15,642	1250,905	0,006	0,684	-8,096	5232,323
430	0,038	0,773	15,911	694,931	0,004	0,773	-6,595	5543,679
435	0,043	0,863	16,028	156,078	0,002	0,863	-5,016	5791,251
440	0,047	0,953	15,998	-357,851	0,001	0,953	-3,378	5970,998
445	0,052	1,043	15,829	-840,142	0,000	1,043	-1,699	6080,015
450	0,056	1,131	15,531	-1285,377	0,000	1,131	0,000	6116,549
455	0,060	1,217	15,115	-1689,573	0,000	1,217	1,699	6080,015
460	0,064	1,300	14,593	-2050,248	0,001	1,300	3,378	5970,998
465	0,068	1,381	13,976	-2366,406	0,002	1,381	5,016	5791,251
470	0,072	1,457	13,278	-2638,442	0,004	1,457	6,595	5543,679
475	0,076	1,530	12,510	-2867,987	0,006	1,530	8,096	5232,323
480	0,079	1,598	11,685	-3057,701	0,008	1,598	9,502	4862,313
485	0,082	1,661	10,811	-3211,035	0,011	1,661	10,797	4439,820
490	0,085	1,719	9,901	-3331,983	0,014	1,719	11,969	3971,965
495	0,088	1,772	8,960	-3424,845	0,018	1,772	13,004	3466,710
500	0,090	1,820	7,998	-3494,004	0,021	1,820	13,895	2932,709
505	0,092	1,862	7,019	-3543,743	0,025	1,862	14,633	2379,116
510	0,094	1,898	6,029	-3578,083	0,030	1,898	15,216	1815,364
515	0,096	1,929	5,031	-3600,671	0,034	1,929	15,642	1250,905
520	0,097	1,955	4,029	-3614,687	0,038	1,955	15,911	694,931
525	0,098	1,975	3,023	-3622,788	0,043	1,975	16,028	156,078
530	0,098	1,989	2,016	-3627,067	0,047	1,989	15,998	-357,851
535	0,099	1,997	1,008	-3629,028	0,052	1,997	15,829	-840,142
540	0,099	2,000	0,000	-3629,581	0,056	2,000	15,531	-1285,377
545	0,099	1,997	-1,008	-3629,028	0,060	1,997	15,115	-1689,573
550	0,098	1,989	-2,016	-3627,067	0,064	1,989	14,593	-2050,248
555	0,098	1,975	-3,023	-3622,788	0,068	1,975	13,976	-2366,406
560	0,097	1,955	-4,029	-3614,687	0,072	1,955	13,278	-2638,442
565	0,096	1,929	-5,031	-3600,671	0,076	1,929	12,510	-2867,987
570	0,094	1,898	-6,029	-3578,083	0,079	1,898	11,685	-3057,701
575	0,092	1,862	-7,019	-3543,743	0,082	1,862	10,811	-3211,035
580	0,090	1,820	-7,998	-3494,004	0,085	1,820	9,901	-3331,983
585	0,088	1,772	-8,960	-3424,845	0,088	1,772	8,960	-3424,845
590	0,085	1,719	-9,901	-3331,983	0,090	1,719	7,998	-3494,004
595	0,082	1,661	-10,811	-3211,035	0,092	1,661	7,019	-3543,743
600	0,079	1,598	-11,685	-3057,701	0,094	1,598	6,029	-3578,083
605	0,076	1,530	-12,510	-2867,987	0,096	1,530	5,031	-3600,671
610	0,072	1,457	-13,278	-2638,442	0,097	1,457	4,029	-3614,687
615	0,068	1,381	-13,976	-2366,406	0,098	1,381	3,023	-3622,788
620	0,064	1,300	-14,593	-2050,248	0,098	1,300	2,016	-3627,067
625	0,060	1,217	-15,115	-1689,573	0,099	1,217	1,008	-3629,028
630	0,056	1,131	-15,531	-1285,377	0,099	1,131	0,000	-3629,581
635	0,052	1,043	-15,829	-840,142	0,099	1,043	-1,008	-3629,028
640	0,047	0,953	-15,998	-357,851	0,098	0,953	-2,016	-3627,067
645	0,043	0,863	-16,028	156,078	0,098	0,863	-3,023	-3622,788
650	0,038	0,773	-15,911	694,931	0,097	0,773	-4,029	-3614,687
655	0,034	0,684	-15,642	1250,905	0,096	0,684	-5,031	-3600,671

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

КРБ.142.4227 зм. 25.06.02.ПЗ

Аркуш

34

660	0,030	0,598	-15,216	1815,364	0,094	0,598	-6,029	-3578,083
665	0,025	0,514	-14,633	2379,116	0,092	0,514	-7,019	-3543,743
670	0,021	0,433	-13,895	2932,709	0,090	0,433	-7,998	-3494,004
675	0,018	0,358	-13,004	3466,710	0,088	0,358	-8,960	-3424,845
680	0,014	0,287	-11,969	3971,965	0,085	0,287	-9,901	-3331,983
685	0,011	0,223	-10,797	4439,820	0,082	0,223	-10,811	-3211,035
690	0,008	0,166	-9,502	4862,313	0,079	0,166	-11,685	-3057,701
695	0,006	0,117	-8,096	5232,323	0,076	0,117	-12,510	-2867,987
700	0,004	0,075	-6,595	5543,679	0,072	0,075	-13,278	-2638,442
705	0,002	0,043	-5,016	5791,251	0,068	0,043	-13,976	-2366,406
710	0,001	0,019	-3,378	5970,998	0,064	0,019	-14,593	-2050,248
715	0,000	0,005	-1,699	6080,015	0,060	0,005	-15,115	-1689,573
720	0,000	0,000	0,000	6116,549	0,056	0,000	-15,531	-1285,377

Динамічний розрахунок автомобільного двигуна типу 8ЧН 10,3/9,9 (General Motors 6.6L V-8 Duramax LML Turbo-Diesel) виконується для одержання залежностей сил, що діють на деталі двигуна. Для початку динамічних розрахунків визначають зміну рушійної сили від кута п.к.в. – $P_{dv}=f(\varphi)$. Ця сила є сумою двох складових, а саме сили від тиску газів P_g та сили інерції P_j , які також є змінними від кута п.к.в.:

$$P_{dv} = P_g + P_j.$$

Сили від тиску газів є відомою з теплового розрахунку, а сили інерції визначаються, як:

$$P_j = -m_j \cdot r \cdot \omega^2 \cdot (\cos \varphi + \lambda \cdot \cos 2\varphi) = C \cdot \cos \varphi + \lambda \cdot C \cdot \cos 2\varphi = P_{jI} + P_{jII}, \text{ Н};$$

де $C = -m_j \cdot r \cdot \omega^2$.

Отримавши залежність $P_{dv}=f(\varphi)$ можна знайти і інші сили та моменти, що діють на двигун. Так P_{dv} розкладається на певну кількість складових за схемою, поданою на рис. 2.5.

Ці складові обчислюються також від значення кута повороту колінчастого валу φ та кута відхилення шатуна β за наступними формулами:

$$N = P_\Sigma \cdot \operatorname{tg} \beta, \text{ Н}; \quad Q = P_\Sigma \cdot \frac{1}{\cos \beta},$$

$$\text{Н}; \quad Z = P_\Sigma \cdot \frac{\cos(\varphi + \beta)}{\cos \beta}; \quad \text{Н}; \quad T = P_\Sigma \cdot \frac{\sin(\varphi + \beta)}{\sin \beta}, \text{ Н}.$$

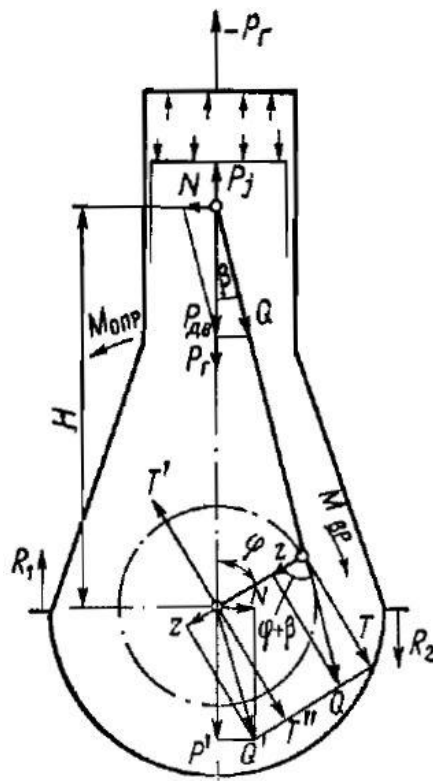


Рисунок 2.5 – Схема дії сил тронкового рядного ДВЗ

Динамічний розрахунок двигуна типу 8ЧН 10,3/9,9 (General Motors 6.6L V-8 Duramax LML Turbo-Diesel) здійснено із застосуванням таблиць Microsoft Excel, а самі результати наведено у табл. 2.13 та рисунках 2.6, 2.7.

Таблиця 2.13 – Динамічний розрахунок двигуна типу 8ЧН 10,3/9,9 (General Motors 6.6L V-8 Duramax LML Turbo-Diesel)

φ°	P_r, H	P_j, H	P_{dv}, H	N, H	Z, H	T, H	P_r, H	P_{jb}, H	P_{dv}, H	N_l	Z_l	T_l	Z_Σ	T_Σ
0	2374,6	-18349,6	-16808,2	0,0	-16808,2	0,0	1666,41	3856,12991	4689,33425	-1247,0454	-1247,0454	-4689,3342	-18055,3	-4689,3
5	2374,6	-18240,0	-16698,6	-374,1	-16602,5	-1828,1	1666,41	2520,42498	3353,62932	-888,20608	-592,53813	-3418,28	-17195,0	-5246,4
10	2374,6	-17913,0	-16371,6	-731,4	-15995,8	-3563,1	1666,41	1073,55178	1906,75612	-498,83293	-160,14982	-1964,4096	-16156,0	-5527,5
15	2374,6	-17373,8	-15832,3	-1055,4	-15019,7	-5117,2	1666,41	-468,23421	364,970126	-93,528916	4,11922386	-376,74113	-15015,6	-5493,9
20	2374,6	-16631,0	-15089,6	-1331,5	-13724,2	-6412,2	1666,41	-2084,7928	-1251,5884	311,479473	-135,37349	1282,64065	-13859,6	-5129,5
25	2374,6	-15697,0	-14155,5	-1546,6	-12175,6	-7384,1	1666,41	-3752,7163	-2919,5119	699,248311	-600,10486	2941,49149	-12775,7	-4442,6
30	2374,6	-14586,9	-13045,5	-1690,4	-10452,6	-7986,7	1666,41	-5446,0916	-4612,8873	1053,09835	-1394,4337	4521,42675	-11847,0	-3465,2
35	2374,6	-13319,5	-11778,0	-1755,4	-8641,2	-8193,5	1666,41	-7137,3475	-6304,1431	1357,58601	-2503,8386	5942,73108	-11145,0	-2250,8
40	2374,6	-11915,9	-10374,5	-1737,7	-6830,3	-7999,7	1666,41	-8798,1267	-7964,9223	1599,38318	-3894,5548	7129,54817	-10724,9	-870,2
45	2374,6	-10400,1	-8858,7	-1637,1	-5106,4	-7421,7	1666,41	-10400,131	-9566,9264	1768,00229	-5514,6721	8015,00496	-10621,1	593,3
50	2374,6	-8798,1	-7256,7	-1457,2	-3548,3	-6495,6	1666,41	-11915,894	-11082,69	1856,32526	-7296,61	8545,84332	-10844,9	2050,2
55	2374,6	-7137,3	-5595,9	-1205,1	-2222,6	-5275,1	1666,41	-13319,459	-12486,255	1860,91756	-9160,7628	8686,19603	-11383,3	3411,1
60	2374,6	-5446,1	-3904,7	-891,4	-1180,3	-3827,2	1666,41	-14586,94	-13753,735	1782,12972	-11020,019	8420,23729	-12200,4	4593,0
65	2374,6	-3752,7	-2211,3	-529,6	-454,5	-2227,9	1666,41	-15696,968	-14863,764	1624,0038	-12784,811	7753,5453	-13239,3	5525,6
70	2374,6	-2084,8	-543,4	-135,2	-58,8	-556,8	1666,41	-16631,038	-15797,834	1394,01227	-14368,327	6713,12035	-14427,1	6156,3
75	2374,6	-468,2	1073,2	275,0	12,1	1107,8	1666,41	-17373,752	-16540,548	1102,66128	-15691,552	5346,09773	-15679,4	6453,9

80	2374,6	1073,6	2615,0	684,1	-219,6	2694,0	1666,41	-17912,994	-17079,79	762,989901	-16687,818	3717,2728	-16907,5	6411,3
85	2374,6	2520,4	4061,9	1075,8	-717,7	4140,2	2374,63	-18240,045	-16698,617	374,126622	-16602,467	1828,08333	-17320,1	5968,2
90	2374,6	3856,1	5397,6	1435,4	-1435,4	5397,6	2374,63	-18349,647	-16808,219	0	-16808,219	0	-18243,6	5397,6
95	2374,6	5068,7	6610,1	1750,7	-2320,1	6432,4	2374,63	-18240,045	-16698,617	-374,12662	-16602,467	-1828,0833	-18922,6	4604,3
100	2374,6	6150,7	7692,2	2012,4	-3317,5	7225,9	2374,63	-17912,994	-16371,566	-731,35207	-15995,848	-3563,1339	-19313,4	3662,7
105	2374,6	7099,2	8640,6	2214,3	-4375,2	7773,1	2374,63	-17373,752	-15832,324	-1055,4482	-15019,68	-5117,1916	-19394,9	2655,9
110	2374,6	7915,3	9456,8	2353,5	-5445,9	8081,5	2374,63	-16631,038	-15089,61	-1331,5181	-13724,189	-6412,1683	-19170,1	1669,3
115	2374,6	8604,0	10145,4	2429,9	-6489,9	8167,9	2374,63	-15696,968	-14155,54	-1546,6238	-12175,645	-7384,1069	-18665,5	783,8
120	2374,6	9173,1	10714,5	2446,1	-7475,6	8056,0	2374,63	-14586,94	-13045,512	-1690,3622	-10452,563	-7986,6524	-17928,2	69,4
125	2374,6	9633,1	11174,5	2406,4	-8380,7	7773,4	2374,63	-13319,459	-11778,031	-1755,3658	-8641,1619	-8193,5127	-17021,8	-420,1
130	2374,6	9995,9	11537,4	2316,7	-9190,8	7349,0	2374,63	-11915,894	-10374,466	-1737,6994	-6830,3305	-7999,7332	-16021,1	-650,8
135	2374,6	10274,5	11816,0	2183,6	-9899,2	6811,1	2374,63	-10400,131	-8858,7027	-1637,12	-5106,4301	-7421,6674	-15005,6	-610,6
140	2374,6	10482,0	12023,4	2013,9	-10505,0	6185,8	2374,63	-8798,1267	-7256,6986	-1457,1695	-3548,2594	-6495,6041	-14053,3	-309,8
145	2374,6	10631,2	12172,7	1814,2	-11011,8	5495,9	2374,63	-7137,3475	-5595,9194	-1205,0713	-2222,5509	-5275,1094	-13234,4	220,8
150	2374,6	10734,2	12275,7	1590,6	-11426,4	4760,3	2374,63	-5446,0916	-3904,6636	-891,41454	-1180,3442	-3827,2451	-12606,7	933,1
155	2374,6	10802,0	12343,4	1348,6	-11756,9	3994,3	2374,63	-3752,7163	-2211,2882	-529,62262	-454,52968	-2227,9359	-12211,4	1766,3
160	2374,6	10844,1	12385,5	1092,9	-12012,3	3209,1	2374,63	-2084,7928	-543,36473	-135,22573	-58,77106	-556,84575	-12071,1	2652,2
165	2374,6	10868,4	12409,8	827,3	-12201,1	2412,8	2374,63	-468,23421	1073,19381	275,021562	12,1125683	1107,80644	-12188,9	3520,6
170	2374,6	10881,2	12422,6	554,9	-12330,3	1610,7	2374,63	1073,55178	2614,97981	684,113734	-219,63403	2694,04749	-12549,9	4304,7
175	2374,6	10887,1	12428,5	278,5	-12405,5	805,8	2374,63	2520,42498	4061,853	1075,77856	-717,67109	4140,15671	-13123,2	4946,0
180	2374,6	10888,7	12430,2	0,0	-12430,2	0,0	2374,63	3856,12991	5397,55794	1435,38496	-1435,385	5397,55794	-13865,6	5397,6
185	2328,8	10887,1	12382,7	-277,4	-12359,8	-802,9	2374,63	5068,71865	6610,14668	1750,69213	-2320,1425	6432,4102	-14679,9	5629,6
190	2341,5	10881,2	12389,5	-553,5	-12297,4	-1606,4	2374,63	6150,74507	7692,1731	2012,37549	-3317,5348	7225,86637	-15614,9	5619,5
195	2362,9	10868,4	12398,1	-826,5	-12189,5	-2410,5	2374,63	7099,21819	8640,64622	2214,29158	-4375,2052	7773,1225	-16564,7	5362,6
200	2393,4	10844,1	12404,3	-1094,6	-12030,6	-3214,0	2374,63	7915,32588	9456,75391	2353,47714	-5445,9454	8081,50527	-17476,5	4867,5
205	2433,6	10802,0	12402,4	-1355,1	-11813,1	-4013,4	2374,63	8603,96167	10145,3897	2429,90843	-6489,8719	8167,92201	-18303,0	4154,5
210	2484,3	10734,2	12385,4	-1604,8	-11528,5	-4802,9	2374,63	9173,10381	10714,5318	2446,0723	-7475,6267	8056,02061	-19004,1	3253,1
215	2546,6	10631,2	12344,6	-1839,8	-11167,4	-5573,5	2374,63	9633,10457	11174,5326	2406,41573	-8380,6689	7773,37786	-19548,0	2199,9
220	2621,6	10482,0	12270,4	-2055,3	-10720,8	-6312,9	2374,63	9995,94872	11537,3767	2316,74404	-9190,8117	7348,96898	-19911,6	1036,1
225	2711,1	10274,5	12152,4	-2245,8	-10181,1	-7005,0	2374,63	10274,5337	11815,9617	2183,63208	-9899,2077	6811,0856	-20080,3	-194,0
230	2817,1	9995,9	11979,8	-2405,6	-9543,3	-7630,8	2374,63	10482,0127	12023,4408	2013,8989	-10504,999	6185,78268	-20048,3	-1445,0
235	2942,0	9633,1	11741,9	-2528,6	-8806,2	-8168,0	2374,63	10631,2284	12172,6564	1814,17969	-11011,827	5495,85988	-19818,0	-2672,2
240	3089,0	9173,1	11428,9	-2609,2	-7974,0	-8593,1	2374,63	10734,2496	12275,6776	1590,61152	-11426,354	4760,32881	-19400,4	-3832,8
245	3261,9	8604,0	11032,7	-2642,4	-7057,5	-8882,3	2374,63	10802,0132	12343,4412	1348,63523	-11756,915	3994,28507	-18814,4	-4888,0
250	3465,6	7915,3	10547,7	-2625,0	-6074,2	-9013,8	2374,63	10844,0622	12385,4902	1092,90462	-12012,349	3209,09274	-18086,6	-5804,7
255	3706,2	7099,2	9972,2	-2555,5	-5049,4	-8971,0	2374,63	10868,365	12409,793	827,288102	-12201,057	2412,79183	-17250,5	-6558,2
260	3991,2	6150,7	9308,8	-2435,3	-4014,7	-8744,4	2374,63	10881,1995	12422,6275	554,944721	-12330,265	1610,65277	-16345,0	-7133,8
265	4330,6	5068,7	8566,1	-2268,7	-3006,7	-8335,8	2374,63	10887,0848	12428,5128	278,456443	-12405,488	805,819436	-15412,2	-7529,9
270	4736,8	3856,1	7759,7	-2063,6	-2063,6	-7759,7	2374,63	10888,7435	12430,1715	3,9138E-13	-12430,172	1,5229E-12	-14493,7	-7759,7
275	5226,3	2520,4	6913,5	-1831,0	-1221,5	-7046,8	2328,84	10887,0848	12382,7197	-277,43046	-12359,779	-802,85038	-13581,3	-7849,6
280	5820,3	1073,6	6060,6	-1585,5	-509,0	-6243,9	2341,51	10881,1995	12389,5101	-553,46529	-12297,394	-1606,3589	-12806,4	-7850,2
285	6547,2	-468,2	5245,8	-1344,3	59,2	-5415,0	2362,90	10868,365	12398,065	-826,50626	-12189,527	-2410,5116	-12130,3	-7825,5
290	7445,0	-2084,8	4527,0	-1126,6	489,6	-4639,3	2393,41	10844,0622	12404,2705	-1094,5618	-12030,564	-3213,9587	-11540,9	-7853,3
295	8564,9	-3752,7	3979,0	-953,0	817,9	-4008,9	2433,63	10802,0132	12402,4355	-1355,0809	-11813,106	-4013,3754	-10995,2	-8022,3
300	9977,1	-5446,1	3697,8	-844,2	1117,8	-3624,4	2484,34	10734,2496	12385,3825	-1604,8264	-11528,469	-4802,8708	-10410,7	-8427,3
305	11778,3	-7137,3	3807,8	-820,0	1512,3	-3589,5	2546,57	10631,2284	12344,5926	-1839,8046	-11167,367	-5573,4878	-9655,0	-9163,0
310	14103,2	-8798,1	4471,9	-898,0	2186,6	-4002,8	2621,62	10482,0127	12270,4269	-2055,2685	-10720,793	-6312,8513	-8534,2	10315,7
315	17139,0	-10400,1	5905,7	-1091,4	3404,2	-4947,7	2711,11	10274,5337	12152,4401	-2245,8145	-10181,103	-7005,0421	-6776,9	11952,7
320	21144,8	-11915,9	8395,7	-1406,3	5527,6	-6473,9	2817,06	9995,94872	11979,8088	-2405,5859	-9543,2584	-7630,7852	-4015,7	14104,7
325	26470,5	-13319,5	12317,8	-1835,8	9037,2	-8569,0	2941,98	9633,10457	11741,8841	-2528,5939	-8806,1709	-8168,0465	231,0	16737,1
330	33561,7	-14586,9	18141,6	-2350,7	14535,7	11106,5	3088,98	9173,10381	11428,8763	-2609,1535	-7974,0313	-8593,1205	6561,7	19699,7

335	42911,3	-15697,0	26381,2	-2882,4	22691,3	13761,5	3261,91	8603,96167	11032,6668	-2642,419	-7057,4513	-8882,2573	15633,8	-22643,7
340	54868,2	-16631,0	37404,0	-3300,6	34019,4	15894,4	3465,61	7915,32588	10547,734	-2624,9865	-6074,2179	-9013,8296	27945,2	24908,2
345	69166,3	-17373,8	50959,4	-3397,2	48343,7	16470,7	3706,16	7099,21819	9972,16897	-2555,5137	-5049,4239	-8970,9599	43294,3	25441,6
350	84140,9	-17913,0	65394,7	-2921,3	63893,9	14232,6	3991,21	6150,74507	9308,75481	-2435,2949	-4014,7456	-8744,4494	59879,2	22977,1
355	96194,1	-18240,0	77120,9	-1727,9	76676,8	-8442,8	4330,57	5068,71865	8566,08854	-2268,7218	-3006,6724	-8335,7599	73670,2	16778,6
360	100915,7	-18349,6	81732,9	0,0	81732,9	0,0	4736,81	3856,12991	7759,73984	-2063,5654	-2063,5654	-7759,7398	79669,3	-7759,7
365	135295,7	-18240,0	116222,5	2603,9	115553,3	12723,5	5226,26	2520,42498	6913,47598	-1831,0287	-1221,5119	-7046,7528	114331,8	5676,7
370	135295,7	-17913,0	116549,5	5206,5	113874,8	25366,0	5820,29	1073,55178	6060,63312	-1585,5428	-509,03693	-6243,8851	113365,7	19122,1
375	135295,7	-17373,8	117088,8	7805,6	111078,8	37844,5	6547,23	-468,23421	5245,78965	-1344,3101	59,2064401	-5414,9768	111138,0	32429,5
380	127787,9	-16631,0	110323,7	9735,0	100340,8	46880,9	7445,00	-2084,7928	4526,99841	-1126,622	489,646238	-4639,3144	100830,4	42241,6
385	103040,1	-15697,0	86509,9	9452,0	74410,0	45127,1	8564,89	-3752,7163	3978,96927	-952,9975	817,876027	-4008,925	75227,9	41118,2
390	83088,5	-14586,9	67668,4	8768,1	54218,5	41427,6	9977,06	-5446,0916	3697,76437	-844,18051	1117,80041	-3624,4481	55336,3	37803,1
395	67494,5	-13319,5	53341,8	7949,9	39135,2	37107,8	11778,32	-7137,3475	3807,76818	-819,99611	1512,34461	-3589,4715	40647,5	33518,3
400	55441,2	-11915,9	42692,1	7150,8	28107,6	32919,8	14103,19	-8798,1267	4471,86361	-897,96525	2186,57723	-4002,8472	30294,2	28917,0
405	46126,4	-10400,1	34893,1	6448,4	20113,5	29232,8	17139,00	-10400,131	5905,66831	-1091,3887	3404,20978	-4947,6664	23517,7	24285,2
410	38886,9	-8798,1	29255,5	5874,6	14304,9	26187,2	21144,81	-11915,894	8395,71354	-1406,2629	5527,56136	-6473,9205	19832,5	19713,3
415	33211,7	-7137,3	25241,1	5435,6	10025,1	23794,1	26470,50	-13319,459	12317,8338	-1835,8165	9037,19761	-8569,0321	19062,3	15225,0
420	28718,8	-5446,1	22439,6	5122,8	6783,3	21994,6	33561,74	-14586,94	18141,5964	-2350,6835	14535,7416	-11106,55	21319,0	10888,1
425	25126,0	-3752,7	20540,0	4919,5	4222,0	20694,7	42911,33	-15696,968	26381,1574	-2882,3857	22691,2995	-13761,487	26913,3	6933,2
430	22224,3	-2084,8	19306,3	4804,7	2088,2	19785,3	54868,21	-16631,038	37403,9681	-3300,5532	34019,3772	-15894,416	36107,6	3890,9
435	19858,9	-468,2	18557,5	4755,6	209,4	19156,0	69166,33	-17373,752	50959,3752	-3397,1626	48343,7262	-16470,664	48553,2	2685,3
440	17914,1	1073,6	18154,4	4749,4	-1524,8	18703,3	84140,92	-17912,994	65394,7233	-2921,3189	63893,9488	-14232,612	62369,1	4470,7
445	16302,3	2520,4	17989,6	4764,5	-3178,5	18336,4	96194,14	-18240,045	77120,8938	-1727,8664	76676,8321	-8442,8201	73498,3	9893,5
450	14957,3	3856,1	17980,2	4781,5	-4781,5	17980,2	100915,74	-18349,647	81732,8866	-5,147E-12	81732,8866	-2,003E-11	76951,4	17980,2
455	13827,7	5068,7	18063,2	4784,0	-6340,1	17577,5	135295,72	-18240,045	116222,471	2603,92343	115553,262	12723,4705	109213,1	30301,0
460	12874,0	6150,7	18191,6	4759,2	-7845,8	17088,8	135295,72	-17912,994	116549,522	5206,51057	113874,771	25366,024	106029,0	42454,8
465	12065,1	7099,2	18331,1	4697,6	-9282,0	16490,7	135295,72	-17373,752	117088,764	7805,62105	111078,818	37844,4531	101796,8	54335,1
470	11376,5	7915,3	18458,6	4593,8	-10629,9	15774,3	127787,92	-16631,038	110323,677	9735,04104	100340,765	46880,8659	89710,8	62655,2
475	10788,7	8604,0	18559,5	4445,2	-11872,3	14942,0	103040,06	-15696,968	86509,8837	9452,00569	74409,9911	45127,083	62537,7	60069,1
480	10286,2	9173,1	18626,1	4252,2	-12995,6	14004,5	83088,52	-14586,94	67668,3809	8768,07862	54218,4976	41427,5693	41222,9	55432,1
485	9856,2	9633,1	18656,1	4017,6	-13991,7	12977,8	67494,47	-13319,459	53341,8041	7949,91777	39135,1624	37107,7933	25143,5	50085,6
490	9488,7	9995,9	18651,5	3745,3	-14858,0	11880,4	55441,24	-11915,894	42692,1439	7150,83673	28107,6103	32919,8399	13249,6	44800,3
495	9175,5	10274,5	18616,8	3440,4	-15596,8	10731,3	46126,44	-10400,131	34893,101	6448,37014	20113,4621	29232,8346	4516,6	39964,1
500	8909,7	10482,0	18558,5	3108,5	-16214,7	9547,9	38886,88	-8798,1267	29255,5478	5874,61235	14304,8895	26187,1779	-1909,8	35735,1
505	8685,9	10631,2	18483,9	2754,8	-16721,2	8345,3	33211,67	-7137,3475	25241,1156	5435,62938	10025,1022	23794,0604	-6696,1	32139,4
510	8499,7	10734,2	18400,8	2384,3	-17127,7	7135,6	28718,85	-5446,0916	22439,5526	5122,83401	6783,27191	21994,6396	-10344,4	29130,2
515	8347,6	10802,0	18316,4	2001,2	-17446,1	5927,1	25125,95	-3752,7163	20540,0342	4919,51554	4221,99831	20694,67	-13224,1	26621,8
520	8226,7	10844,1	18237,5	1609,3	-17688,1	4725,4	22224,28	-2084,7928	19306,2804	4804,70255	2088,19326	19785,2743	-15599,9	24510,6
525	8134,8	10868,4	18169,9	1211,3	-17864,3	3532,7	19858,92	-468,23421	18557,4768	4755,62401	209,448379	19155,9922	-17654,9	22688,7
530	8070,2	10881,2	18118,2	809,4	-17983,5	2349,1	17914,06	1073,55178	18154,4028	4749,43488	-1524,8013	18703,3274	-19508,3	21052,4
535	8032,0	10887,1	18085,9	405,2	-18052,3	1172,6	16302,34	2520,42498	17989,5652	4764,52214	-3178,4978	18336,3649	-21230,8	19509,0
540	8019,3	10888,7	18074,8	0,0	-18074,8	0,0	14957,27	3856,12991	17980,199	4781,51554	-4781,5155	17980,199	-22856,3	17980,2
545	1666,4	10887,1	11720,3	-262,6	-11698,6	-759,9	13827,72	5068,71865	18063,2331	4784,03303	-6340,1428	17577,5411	-18038,7	16817,6
550	1666,4	10881,2	11714,4	-523,3	-11627,3	-1518,8	12874,02	6150,74507	18191,5576	4759,15506	-7845,7836	17088,7683	-19473,1	15569,9
555	1666,4	10868,4	11701,6	-780,1	-11504,7	-2275,1	12065,12	7099,21819	18331,1342	4697,62041	-9281,9995	16490,6823	-20786,7	14215,6
560	1666,4	10844,1	11677,3	-1030,4	-11325,5	-3025,6	11376,52	7915,32588	18458,6455	4593,75391	-10629,945	15774,2966	-21955,4	12748,7
565	1666,4	10802,0	11635,2	-1271,3	-11082,3	-3765,1	10788,74	8603,96167	18559,4956	4445,15944	-11872,264	14942,0098	-22954,6	11176,9
570	1666,4	10734,2	11567,5	-1498,8	-10767,1	-4485,7	10286,16	9173,10381	18626,0568	4252,23261	-12995,57	14004,5221	-23762,7	9518,8
575	1666,4	10631,2	11464,4	-1708,6	-10371,1	-5176,1	9856,21	9633,10457	18656,1122	4017,56059	-13991,699	12977,8143	-24362,8	7801,7
580	1666,4	10482,0	11315,2	-1895,3	-9886,2	-5821,4	9488,73	9995,94872	18651,4747	3745,27882	-14857,987	11880,4397	-24744,2	6059,0
585	1666,4	10274,5	11107,7	-2052,7	-9305,9	-6402,8	9175,45	10274,5337	18616,7826	3440,44816	-15596,817	10731,289	-24902,7	4328,4

590	1666,4	9995,9	10829,2	-2174,5	-8626,6	-6897,9	8909,66	10482,0127	18558,4711	3108,50158	-16214,72	9547,9049	-24841,4	2650,1
595	1666,4	9633,1	10466,3	-2253,9	-7849,5	-7280,7	8685,90	10631,2284	18483,9204	2754,79335	-16721,226	8345,3466	-24570,7	1064,6
600	1666,4	9173,1	10006,3	-2284,4	-6981,5	-7523,5	8499,73	10734,2496	18400,773	2384,26607	-17127,67	7135,55152	-24109,2	-388,0
605	1666,4	8604,0	9437,2	-2260,3	-6036,8	-7597,7	8347,60	10802,0132	18316,4046	2001,23678	-17446,059	5927,11061	-23482,9	-1670,6
610	1666,4	7915,3	8748,5	-2177,2	-5038,1	-7476,3	8226,67	10844,0622	18237,5313	1609,29295	-17688,084	4725,36234	-22726,2	-2750,9
615	1666,4	7099,2	7932,4	-2032,8	-4016,6	-7136,0	8134,77	10868,365	18169,9284	1211,28254	-17864,306	3532,71442	-21880,9	-3603,3
620	1666,4	6150,7	6983,9	-1827,1	-3012,1	-6560,6	8070,24	10881,1995	18118,2396	809,379606	-17983,53	2349,11597	-20995,6	-4211,5
625	1666,4	5068,7	5901,9	-1563,1	-2071,6	-5743,2	8031,97	10887,0848	18085,8531	405,207153	-18052,347	1172,62074	-20123,9	-4570,6
630	1666,4	3856,1	4689,3	-1247,0	-1247,0	-4689,3	8019,29	10888,7435	18074,8275	1,7073E-12	-18074,828	6,6433E-12	-19321,9	-4689,3
635	1666,4	2520,4	3353,6	-888,2	-592,5	-3418,3	1666,41	10887,0848	11720,2892	-262,58894	-11698,576	-759,9008	-12291,1	-4178,2
640	1666,4	1073,6	1906,8	-498,8	-160,1	-1964,4	1666,41	10881,1995	11714,4039	-523,30689	-11627,307	-1518,8282	-11787,5	-3483,2
645	1666,4	-468,2	365,0	-93,5	4,1	-376,7	1666,41	10868,365	11701,5693	-780,07498	-11504,746	-2275,0944	-11500,6	-2651,8
650	1666,4	-2084,8	-1251,6	311,5	-135,4	1282,6	1666,41	10844,0622	11677,2665	-1030,4104	-11325,462	-3025,5913	-11460,8	-1743,0
655	1666,4	-3752,7	-2919,5	699,2	-600,1	2941,5	1666,41	10802,0132	11635,2175	-1271,2552	-11082,344	-3765,1069	-11682,4	-823,6
660	1666,4	-5446,1	-4612,9	1053,1	-1394,4	4521,4	1666,41	10734,2496	11567,4539	-1498,844	-10767,131	-4485,69	-12161,6	35,7
665	1666,4	-7137,3	-6304,1	1357,6	-2503,8	5942,7	1666,41	10631,2284	11464,4327	-1708,6279	-10371,142	-5176,1024	-12875,0	766,6
670	1666,4	-8798,1	-7964,9	1599,4	-3894,6	7129,5	1666,41	10482,0127	11315,2171	-1895,273	-9886,2172	-5821,4179	-13780,8	1308,1
675	1666,4	-10400,1	-9566,9	1768,0	-5514,7	8015,0	1666,41	10274,5337	11107,738	-2052,7498	-9305,8702	-6402,8436	-14820,5	1612,2
680	1666,4	-11915,9	-11082,7	1856,3	-7296,6	8545,8	1666,41	9995,94872	10829,1531	-2174,5303	-8626,6323	-6897,8514	-15923,2	1648,0
685	1666,4	-13319,5	-12486,3	1860,9	-9160,8	8686,2	1666,41	9633,10457	10466,3089	-2253,901	-7849,5158	-7280,7138	-17010,3	1405,5
690	1666,4	-14586,9	-13753,7	1782,1	-11020,0	8420,2	1666,41	9173,10381	10006,3081	-2284,3885	-6981,4925	-7523,5228	-18001,5	896,7
695	1666,4	-15697,0	-14863,8	1624,0	-12784,8	7753,5	1666,41	8603,96167	9437,16601	-2260,2827	-6036,8305	-7597,7403	-18821,6	155,8
700	1666,4	-16631,0	-15797,8	1394,0	-14368,3	6713,1	1666,41	7915,32588	8748,53022	-2177,2234	-5038,0943	-7476,275	-19406,4	-763,2
705	1666,4	-17373,8	-16540,5	1102,7	-15691,6	5346,1	1666,41	7099,21819	7932,42253	-2032,7989	-4016,595	-7136,0047	-19708,1	-1789,9
710	1666,4	-17913,0	-17079,8	763,0	-16687,8	3717,3	1666,41	6150,74507	6983,94941	-1827,0947	-3012,0871	-6560,5759	-19699,9	-2843,3
715	1666,4	-18240,0	-17406,8	390,0	-17306,6	1905,6	1666,41	5068,71865	5901,92299	-1563,1196	-2071,558	-5743,2295	-19378,2	-3837,6
720	2374,6	-18349,6	-16808,2	0,0	-16808,2	0,0	1666,41	3856,12991	4689,33425	-1247,0454	-1247,0454	-4689,3342	-18055,3	-4689,3

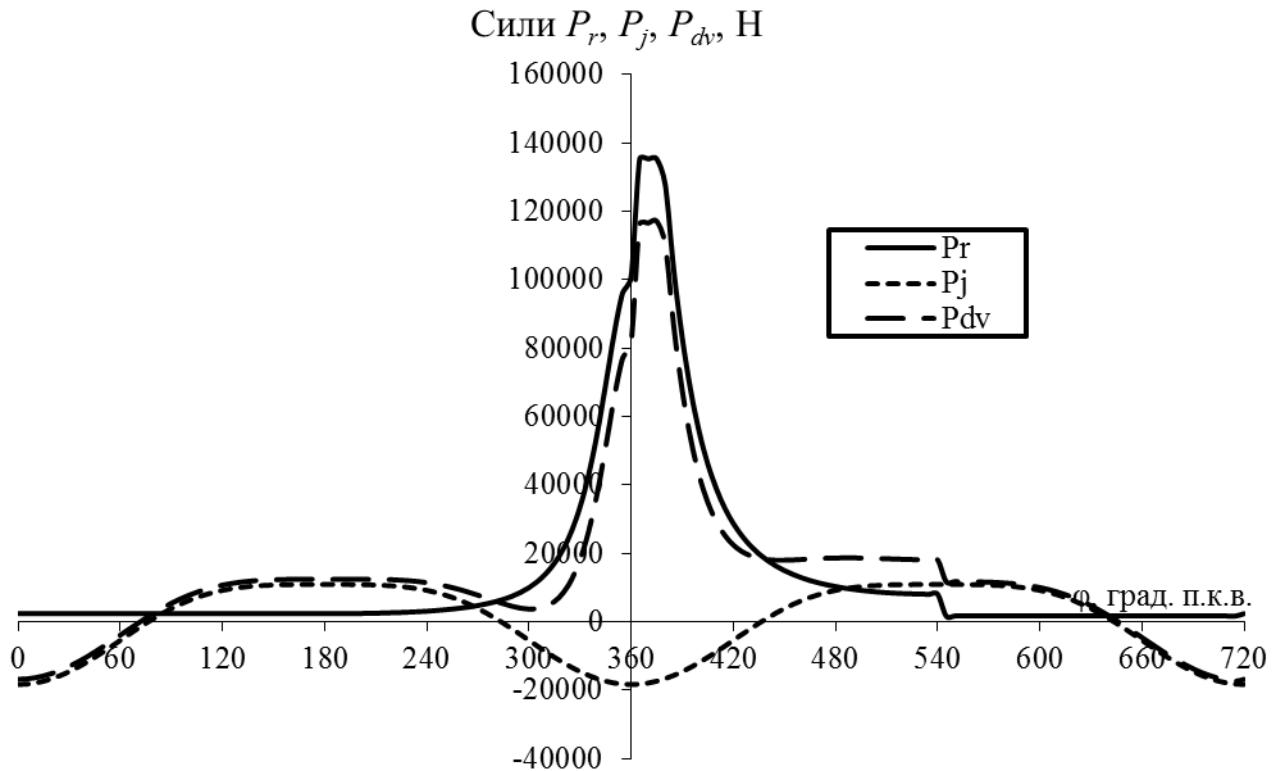


Рисунок 2.6 – Сили P_r , P_j і P_{dv} одного циліндру двигуна типу 8ЧН 10,3/9,9
(General Motors 6.6L V-8 Duramax LML Turbo-Diesel)

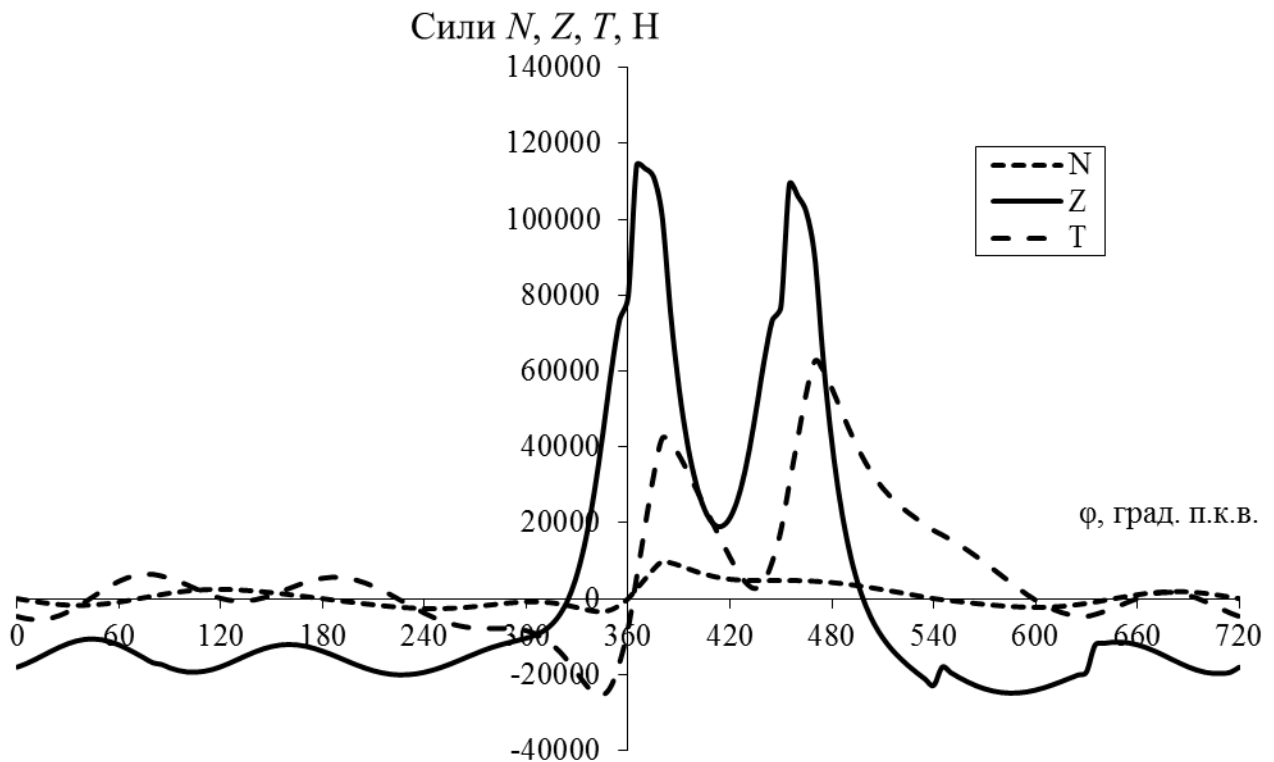


Рисунок 2.7 – Сили N , Z , T двигуна типу 8ЧН 10,3/9,9 (General Motors 6.6L V-8 Duramax LML Turbo-Diesel)

Розклавши P_{dv} матимемо пару тангенціальних сил $T-T'$, яка на плечі кривошипу двигуна типу 8ЧН 10,3/9,9 (General Motors 6.6L V-8 Duramax LML Turbo-Diesel) утворює крутний момент $M_{кр}$:

$$M_{кр} = P_{дв} \cdot \operatorname{tg} \beta \cdot (l_{ш} \cdot \cos \beta + r \cdot \cos \varphi) = P_{дв} \cdot r \cdot \frac{\sin(\varphi + \beta)}{\cos \beta} = M_{опр}, \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Сумарна дотична сили $T_{сум}^\varphi$ двигуна типу 8ЧН 10,3/9,9 (General Motors 6.6L V-8 Duramax LML Turbo-Diesel) визначається, як:

$$T_{сум.сер} = \sum_{\varphi=0}^{\varphi_3 - \Delta\varphi} \frac{T_{сум.\varphi} \cdot \Delta\varphi}{\varphi_3}, \text{ Н}.$$

де φ_3 – кут заклинки колін V-подібного двигуна типу 8ЧН 10,3/9,9. Для забезпечення рівномірності кут заклинювання V-подібного 8-циліндрового дизеля становитиме $\varphi_3 = 180$ град.

На рис. 2.8 подано залежність зміни сумарної дотичної сили $T_{сум}^\varphi = f(\varphi)$ V-подібного двигуна типу 8ЧН 10,3/9,9, а у таблиці 2.14 відповідні розрахунки, які було реалізовано з застосуванням таблиць Microsoft Excel.

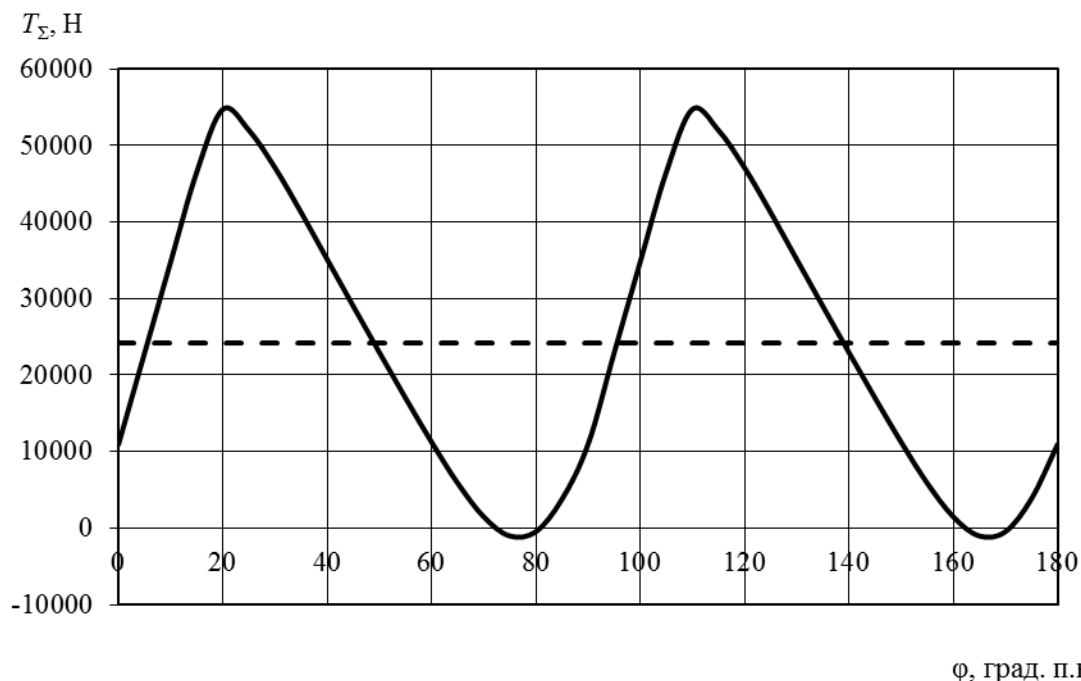


Рисунок 2.8 – Сили $T_{\text{сум}}^{\varphi}$, $T_{\text{сум.сер}}$ автомобільного V-подібного двигуна типу 8ЧН 10,3/9,9 (General Motors 6.6L V-8 Duramax LML Turbo-Diesel)

Таблиця 2.14 – Сили $T_{\text{сум}}^{\varphi}$, $T_{\text{сум.сер}}$ автомобільного V-подібного двигуна типу 8ЧН 10,3/9,9 (General Motors 6.6L V-8 Duramax LML Turbo-Diesel)

Кут п.к.в., φ°	Значення $T(\varphi)$ за кутом п.к.в., Н			
	1-й криво- шип	2-й криво- шип	3-й криво- шип	4-й криво- шип
0	-4689,3	5397,6	-7759,74	17980,20
5	-5246,4	5629,6	5676,72	16817,64
10	-5527,5	5619,5	19122,14	15569,94
15	-5493,9	5362,6	32429,48	14215,59
20	-5129,5	4867,5	42241,55	12748,71
25	-4442,6	4154,5	41118,16	11176,90
30	-3465,2	3253,1	37803,12	9518,83
35	-2250,8	2199,9	33518,32	7801,71
40	-870,2	1036,1	28916,99	6059,02
45	593,3	-194,0	24285,17	4328,45
50	2050,2	-1445,0	19713,26	2650,05
55	3411,1	-2672,2	15225,03	1064,63
60	4593,0	-3832,8	10888,09	-387,97
65	5525,6	-4888,0	6933,18	-1670,63
70	6156,3	-5804,7	3890,86	-2750,91
75	6453,9	-6558,2	2685,33	-3603,29
80	6411,3	-7133,8	4470,72	-4211,46
85	5968,2	-7529,9	9893,54	-4570,61
90	5397,6	-7759,7	17980,20	-4689,33
95	4604,3	-7849,6	30301,01	-4178,18
100	3662,7	-7850,2	42454,79	-3483,24
105	2655,9	-7825,5	54335,14	-2651,84
110	1669,3	-7853,3	62655,16	-1742,95
115	783,8	-8022,3	60069,09	-823,62

120	69,4	-8427,3	55432,09	35,74
125	-420,1	-9163,0	50085,61	766,63
130	-650,8	-10315,7	44800,28	1308,13
135	-610,6	-11952,7	39964,12	1612,16
140	-309,8	-14104,7	35735,08	1647,99
145	220,8	-16737,1	32139,41	1405,48
150	933,1	-19699,7	29130,19	896,71
155	1766,3	-22643,7	26621,78	155,81
160	2652,2	-24908,2	24510,64	-763,15
165	3520,6	-25441,6	22688,71	-1789,91
170	4304,7	-22977,1	21052,44	-2843,30
175	4946,0	-16778,6	19508,99	-3837,61
180	5397,6	-7759,7	17980,20	-4689,33

2.3. Висновки до розділу

У розділі було здійснено тепловий розрахунок робочого циклу V-подібного двигуна типу 8ЧН 10,3/9,9 (General Motors 6.6L V-8 Duramax LML Turbo-Diesel). Розраховано та побудовано теоретичні індикаторні діаграми у різних системах координат ($p - V / V_c$, $T - V / V_c$, $T - S$).

Виконано розрахунок кінематики та динаміки V-подібного двигуна типу 8ЧН 10,3/9,9 (General Motors 6.6L V-8 Duramax LML Turbo-Diesel) за результатами якого визначено усі діючі сили та побудовано відповідні залежності їх зміни від кута п.к.в.

РОЗДІЛ 3

РОЗРАХУНОК ТА ПРОЕКТУВАННЯ ШАТУНА АВТОМОБІЛЬНОГО ДВИГУНА ТИПУ 8ЧН 10,3/9,9 (GENERAL MOTORS 6.6L V-8 DURAMAX LML TURBO-DIESEL)

3.1. Призначення шатуна, умови роботи та діючі сили

Шатуни є одними з деталей кривошипно-шатунного механізму (КШМ) двигунів, що перетворюють поступальний рух поршнів у обертальний рух колінвала ДВЗ. Шатуни багато в чому визначають певні технічні параметри ДВЗ й, перш за все, надійність двигуна.

Шатуни ДВЗ при роботі піддаються дії змінних навантажень, які є наслідком дії тиску газів від згоряння й сил інерції від рухомих елементів КШМ. Зазначені навантаження на шатун є змінними протягом здійснення робочого циклу ДВЗ й при цьому можуть мати досить високі значення. Варто відзначити, що наявні руйнування і пошкодження шатунів ДВЗ, які виникають у практиці експлуатації, мають, здебільшого, саме, втомний характер.

Для максимального забезпечення потрібної надійності шатунів ДВЗ, вони мають мати наступні властивості:

- досить високу міцність під час прямого впливу циклічних, а також статичних навантажень шатуна ДВЗ, включаючи з можливими значними перевантаженнями (у разі збільшення, наприклад, частоти обертання двигуна);
- гарантовану високу міцність шатуна має бути гарантована на всіх режимах експлуатації ДВЗ без утворення втомних тріщин на поверхнях;
- мати потрібну жорсткість, яка має забезпечити унеможливлення змінення форми шатуна, так, як це безперечно порушують нормальне функціонування шатунних підшипників та усього двигуна в цілому (навіть до виходу з ладу);
- мати максимальну стабільність номінальних розмірів й досить низький рівень зношуваності усіх опорних поверхонь шатуна протягом встановленого заводом виробником терміну служби даної деталі;

					КРБ.142.4227зст.25.06.03.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		43

- надійну та максимально можливу замкнутість усіх роз'ємів та з'єднань;
- опір елементів шатунної групи можливим пошкодженням від фретинг-корозії на стикових усіх важливих поверхнях, які можуть виникати при роботі двигуна та відповідно циклічних навантажень;

- для зниження інерційних сил – мінімальну масу елементів шатунної групи.

Складовими шатуна ДВЗ є стрижень 5, поршнева (верхня) головка 7, кривошипна (нижня) головка 4 – рис. 3.1. Нижня кривошипна головка є роз'ємною для встановлення підшипника 2 та монтажу на шийку колінчастого валу при збиранні двигуна. Вона закривається кришкою (дивися рис. 3.1) 3, та фіксується шатунними болтами 1.

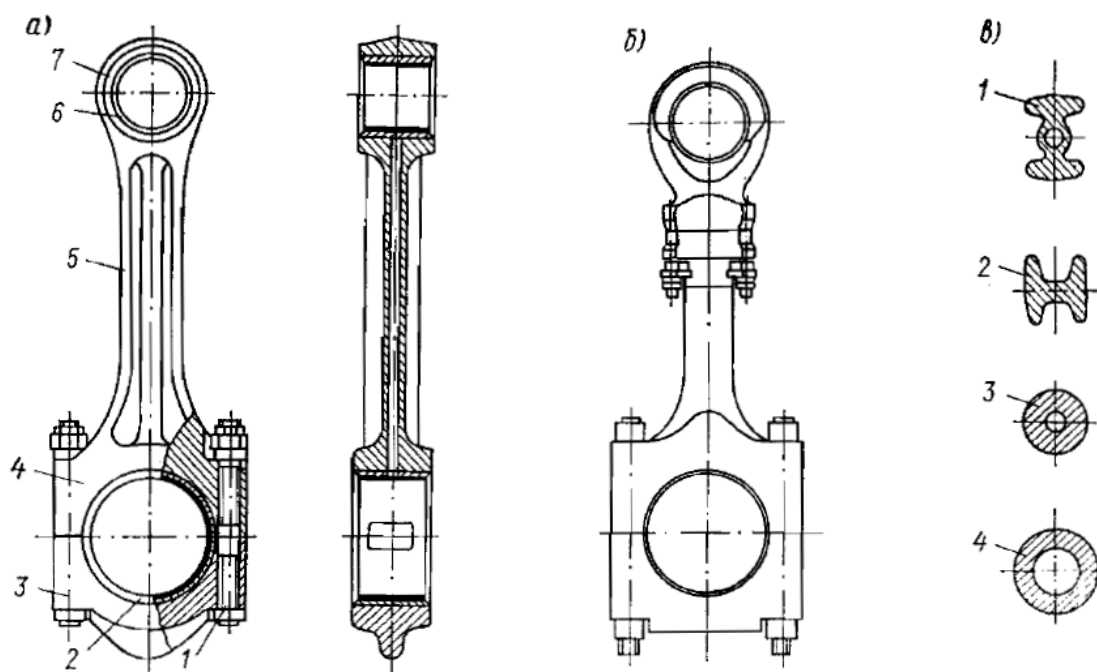


Рисунок 3.1– Загальна конструкція шатуна тронкового ДВЗ:

а – конструкція шатуна із цільним нероз'ємним стрижнем; *б* – конструкція шатуна із роз'ємним стрижнем; *в* – варіанти виконання стрижня

У верхню головку 7 впресовують цільний підшипник ковзання 6. Конструкційні виконання шатунів ДВЗ відрізняються між собою досить великою своєю різноманітністю залежно від типу ДВЗ, прийнятої компоновальної схеми, та ще багатьох чинників. Так умовно конструкції шатунів можна класифікувати за такими наступними ознаками:

- за способом монтажу у склад КШМ двигуна (збирання елементів КШМ): нероз'ємні (цільна нижня головка) та роз'ємні (наявність роз'ємну та нижньої кришки з шатунними болтами);
- за типом роз'єму нижньої кришки: прямий роз'єм та роз'єм під нахилом (косий – рис. 3.2);
- за методом поєднання кришки з нижньою головою: штифтами, болтами та бандажем;
- за способом сприйняттям навантаження в площі роз'єму нижньої головки шатуна: штифтами, шатунними болтами, профільованими поверхнями роз'єму або «спліт – роз'єм» головки;
- за умов роздільної дії утворених навантажень (у разі, коли різні елементи шатуна ДВЗ сприймають різні діючі сили – принцип роздільного сприйняття навантаження шатуном двигуна).

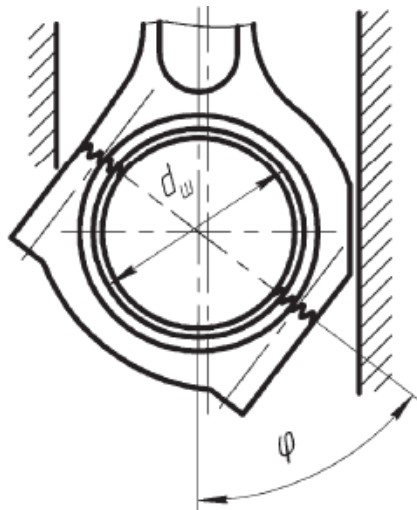


Рисунок 3.2 – Нижня кривошипна головка з косим роз'ємом стику

Конструктивно також розрізняють шатуни рядних ДВЗ й шатуни, W-, X- V- подібних ДВЗ.

Загальна більшість сучасних конструктивних виконань шатунів ДВЗ мають роз'єм нижньої головки, що обумовлено перш за все технологічним процесом збирання / розбирання ДВЗ (особливо це стосується процесу демонтажу поршня з робочого циліндра). В такому випадку колінвал багатопциліндрового ДВЗ виконується ціліс-

ним, що за таких умов його конструкції підвищує жорсткість, а також міцність порівняно зі складеним колінвалом.

У форсованих ДВЗ виникає потреба у збільшенні мотелевої шийки колінвала, що за собою тягне і збільшення нижньої головки шатуна ДВЗ. Однак з огляду на технологічні аспекти демонтажу елементів КШМ (а саме поршня з шатуном) через робочий циліндр було запропоновано конструкції з косим роз'ємом (рис. 3.2). У таких конструкціях площину стику розташовують під деяким кутом φ до осі стрижня шатуна ДВЗ (дивися рис. 3.2). Для одержання гарної форми таких головок шатунні ДВЗ їх кріпильні болти вкручуються безпосередньо в тіло шатуна. Недоліками таких шатунів ДВЗ з косим роз'ємом є фактична відсутність симетрії, що значно підвищує трудомісткість механічної обробки при виготовленні.

У шатунах ДВЗ з косим роз'ємом використовують наступні варіанти з'єднання профільованих стиків нижньої головки та кришки (рис. 3.3):

– зубчасте (шліцьове) з'єднання профільованих стиків у вигляді послідовної системи виконаних трикутних шліців із максимально можливою щільністю прилягання робочих стикових поверхонь – рис. 3.3, а;

– однозубе з'єднання профільованих стиків типу зуба пилки з певним несиметричним узгодженням профілю та силовим стикуванням – рис. 3.3, б;

– замкове з'єднання профільованих стиків у вигляді виконаних виступів прямокутної форми та відповідних їм западин шпонкового типу, що послідовно чергуються, із фіксацією за рахунок посадки в замку та сил тертя від затягування шатунних болтів – рис. 3.3, в.

У шатунах сучасних ДВЗ досить часто використовують так зване шліцьове з'єднання. Таке з'єднання має підвищену несучу спроможність, а також утворює самозамикання під час можливого зсуву.

Для розвантаження шатунних болтів від утворених зусиль зсуву у стику нижньої головки шатуна та кришки (це сприяє появі додаткових напружень вигину) використовують фіксуючі штифти (дивися рис. 3.3, г).

Штифти дають змогу утворити певний зазор між стрижнем болта шатуна і отвором. Така конструкція вилучає контакт між болтом та шатуном ДВЗ, що приз-

водить до їх незалежного один від одного деформування, а також зменшення додаткових напружень вигину у болті шатуна ДВЗ.

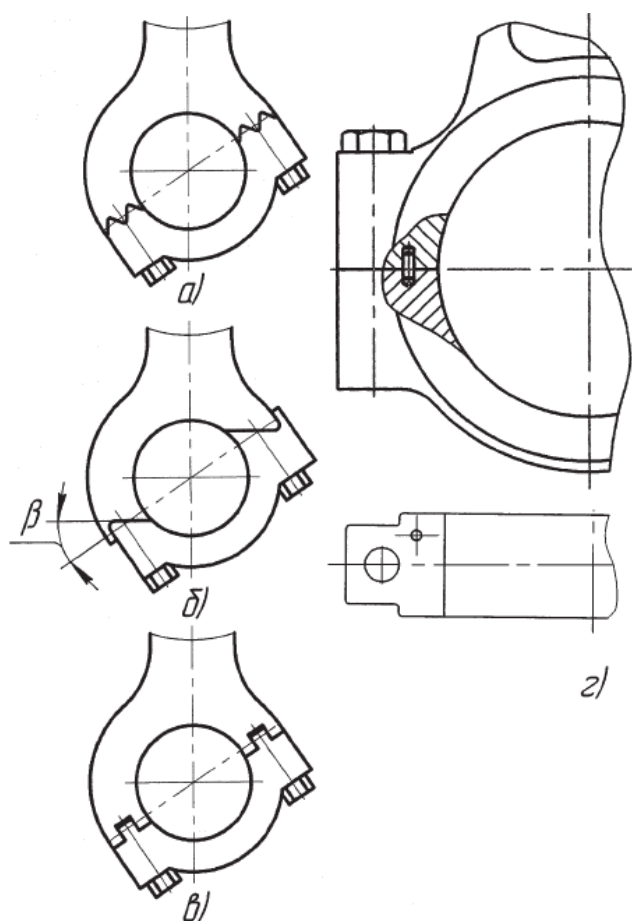


Рисунок 3.3 – Основні конструктивні схеми стикових з'єднань мотелевих головок шатунів форсованих ДВЗ:

а – шліцьове з'єднання; *б* – однозубе з'єднання;
в – замкове з'єднання шпонкового типу; *г* – з'єднання за допомогою штифта

3.2. Основні методи підвищення міцності шатунів ДВЗ та матеріали для їх виготовлення

Шатуни ДВЗ у більшості випадків виробляють шляхом куванням у штампах з подальшими процесами термічного, а також механічного оброблення. У якості основного матеріалу для виробництва шатунів ДВЗ використовують вуглецеві чи леговані сталі різних марок та якості.

Для шатунів високофорсованих ДВЗ прийнято використовувати леговані сталі. Вибір у бік використання легованих сталей обумовлений потребою забезпечити до-

статню циклічну міцність без суттєвого збільшення геометричних розмірів досить небезпечних перетинів частин шатуна. Досягнення більш високих показників міцності при збереженні усіх геометричних розмірів шатуна ДВЗ, досягаються шляхом термообробки.

Враховуючи великий досвід двигунобудування та експлуатації ДВЗ можна виділити наступні марки сталей:

- для виробництва шатунів автомобільних ДВЗ із примусовим (іскровим) запаленням – сталі таких марок, як 45Г2, 40Г, 40Х, а також марки 40ХН;
- для виробництва автомобільних й тракторних дизельних двигунів – сталі таких марок, як 18Х2Н4МА, 40ХН2МА, а також марки 40ХН3МА (також застосовують ковкі перлітові чавуни певних марок);
- для виробництва шатунів високонавантажених й форсованих за тиском ДВЗ, що мають значні розміри перерізів – сталі таких марок, як 18Х2Н4МА, 40ХН2МА, 40Х2Н2МА, 36Х2Н2МФА, 30ХМА, а також марки 40ХФА;
- для виробництва шатунів форсованих за тиском ВОД – сталі таких марок, як 18Х2Н4МА, 30ГМ, 38Х2Н2МА, а також марки 40ХН2МА;
- для виробництва шатунів ДВЗ стаціонарних й суднових МОД – сталі таких марок, як 45Х, 40Х, 40ХН, а також марки 45Г2.

Вуглецеві марки сталей знайшли своє застосування для шатунів ДВЗ досить малого розміру та малого ступеня форсування.

Для застосування у повній мірі усіх підвищених міцнісних властивостей легованих марок сталей потрібно обов'язково брати за увагу досить підвищену чутливість таких сталей до їх якості поверхні. Фактично потрібно відслідковувати стан поверхневого шару (мікро- й макрогеометрію) та інше.

За умов необробленої поверхні шатуна ДВЗ після його штампування можна втратити аж до 50...70% циклічної міцності застосованої марки легованої сталі.

Причиною цього є присутність ослабленого шару сталі на поверхні деталі шатуна, у якому внаслідок досить високих та циклічно повторних нагрівань під час технологічного процесу штампування шатуна й подальшої його термообробки (загартування) у значній мірі вигоряє досить велика частина вуглецю, а також легувальних

					КРБ.142.4227зст.25.06.03.ПЗ	Аркуш
						48
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

елементів самої сталі. Товщина такого знеуглецьованого шару матеріалу після технологічного процесу штампування й термічної обробки шатуна ДВЗ прямо пропорційна тривалості знаходження заготовки шатуна в печі і визначається його габаритними розмірами (для шатунів ДВЗ масою від 100 до 150 кг може доходити до 1,0...1,5мм). Саме тому шатуни ДВЗ, що виробляють з легованих марок сталі, обов'язково потрібно піддавати механічній обробці (або хоча б зачищати поверхні) для зняття знеуглецьованого шару металу чи, наприклад, нагрівати заготівку під штампування у так званому захисному середовищі. За утвореного шару товщиною до 0,30...0,40 мм, що може залишитися після виконання зачистки чи утвореного в заздалегідь оброблених деталях шатуна після її нагріву для подальшого загартування, негативне знеміцнення може бути цілком і повністю усунене обдуванням поверхні деталі з використанням сталевих дробу (наклепом дробу).

За наявності напружень розтягнення у стрижні шатуна ДВЗ які складають більш ніж 20,0 МПа, що притаманне шатунам чотиритактних ДВЗ підвищеної оборотовості, дуже різко збільшується значна небезпека виникнення втомних тріщин у поверхневому шарі матеріалу, який є досить ослабленим й ушкодженим, що у подальшому призведе до поломок. Саме тому вкрай необхідним є майже повне зняття знеуглецьованого шару матеріалу й виконання компенсуючої обробки вже чистих поверхонь шатуна ДВЗ сталевим дробом. Це виконується для усунення впливу можливих залишків дефектного шару матеріалу у готовому шатуні ДВЗ.

Окрему увагу потрібно приділити обранню потрібної технології оброблення поверхонь стрижнів головних шатунів ДВЗ V-подібної конструкції КШМ із-за появи в певних, окремих перерізах стрижня досить значних напружень вигину від додаткової дії причіпних шатунів двигуна.

Виконані дослідження, а також практичний досвід експлуатації ДВЗ свідчать, що особливо для шатунних болтів, а також для інших болтових з'єднань із досить значними зусиллям затягування не є доцільним використовувати леговані марки сталі 20ХН3А та 18Х2Н4МА, а також інші подібні сталі з досить низьким вмістом у їх складі вуглецю. Це пов'язане з тим, щоб під час досить тривалої роботи КШМ у

					КРБ.142.4227зст.25.06.03.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		49

шатуні не накопичувалися пластичні деформації та не відбувалося слабшення зусилля затягування шатунних болтів.

У двотактних ДВЗ за фактично присутності стрижні лише тільки напружень стиснення послаблювальний ефект від необробленої поверхні фактично не проявляється, тому наявність додаткової обробки поверхонь шатуна можуть бути мінімальними – лише усунення наявної окалини й очищення.

В деяких окремих випадках шатуни ДВЗ, що мають високі оберти роблять із досить легких алюмінієвих й трохи рідше із магнієвих сплавів. Маса таких шатунів ДВЗ буде значно менша за масу їх сталевих аналогів десь на 20...25%.

Досить значний інтерес для виробництва шатунів високофорсованих ДВЗ представляють деякі титанові сплави. Титанові сплави мають наближені зі сталями властивості міцності, однак ці сплави мають майже у два рази меншу свою щільність. При цьому варто відзначити, що втомні властивості у титанових сплавах навіть дещо вищі.

На сьогодні з'явилися титанові сплави зі значним вмістом алюмінію (від 7,5 аж до 14 % за масою). У такому випадку в цьому сплаві утворюється так званий інтерметалід титану – Ti_3Al , який і зміцнює такий сплав й додає підвищену жорсткість. Додавання алюмінію 7,5 ...14,0 % за масою сприяє зростанню модуля пружності E з 120 аж до 150 ГПа. Також варто відзначити, що титанові сплави мають кращий опір напруженням стиснення, що є важливим в умовах навантаження шатунів. До основних недоліків титанових сплавів потрібно обов'язково віднести їх невисоку зносостійкість та схильність до деякої повзучості при нормальних температурах. Також недоліком є дещо більше зниження їх межі витривалості у порівнянні зі сталями при збільшенні кількості циклів навантаження деталі (більш ніж 10^7 циклів).

На сьогодні перспективними матеріалами для виготовлення шатунів можуть бути композиційні матеріали. До таких матеріалів можна віднести волокнисті полімерні й металоматричні матеріали дисперсно-зміцнені частинками кераміки (Al_2O_3 , Si_3N_4 або B_4C). Розміри часток складають 5...20 мкм. Кількість додавання таких часток може коливатися у межах 5...30% за об'ємом матеріалу.

Шатунні болти, які застосовують для роз'ємних головок сучасних ДВЗ виготовляють здебільшого з легованих марок сталей, для МОД – застосовують вуглецеві конструкційні сталі марок 45, 35 і 40, а також хромонікелеві середньовуглецеві. Подібні марки сталей застосовують для виробництва штоків МОД. Сталі таких марок, як 45 та 50, а також деякі хромомолібденові й хромонікелеві середньовуглецеві марки сталі використовують для виробництва поперечин з обов'язковою подальшою термічним обробленням. Повзуни МОД виробляють литими зі сталей 20Л або 50Л.

Шатунні болти, що застосовуються у тепловозних ДВЗ й в форсованих ВОД роблять із найв'язкіших й найміцніших хромонікельмолібденованадієвих та хромонікельмолібденових сталей наступних марок 35ЧЦ, 30Х, 40ХН2МА, 36Х2Н2МФА, 40Х2Н2МА, а також марки 38ХН3МА. Для болтів тракторних й автомобільних ДВЗ застосовують леговані марки сталей, таких, як – 45Х, 40Х, 35ХМ, 30ХМА, 40ХНМА, 40ХН2МА, а також сталь марки 40ХНМА.

Підшипникові втулки верхньої головки шатуна, а також зовнішні обойми голчастих підшипників роблять зі сталей марок ШХ15Ш чи ЕІ347 (маркування за ДСТУ – 8Х4В9Ф2Ш). У якості антифрикційних матеріалів для підшипникових втулок застосовують бронзи. Так з найбільш розповсюджених є олов'янисто-фосфористі бронзи БрОФ7,0-0,2 (твердість НВ75...90 одиниць), вони допускають максимальні тиски на поверхню до 90 МПа. Також застосовують алюмінієво-залістисті БрАЖ9-4 (твердість НВ 110 одиниць), а також олов'янисто-цинкові БрОЦ10-2 (твердість НВ 110 одиниць) й бронзу МЦХТ, леговану титаном, цинком, хромом, що має твердість НВ>130 одиниць.

Деякі механічні властивості ряду матеріалів, що застосовують для виготовлення деталей шатунної групи представлено в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Характеристики основних матеріалів, що застосовують у двигунобудуванні для виробництва шатунів ДВЗ

Найменування характеристики матеріалу та її розмірність	Сталь 40ХН	Сталь 18Х2Н4МА	Сталь 40ХН2МА (SAE-4349)	Титановий сплав – Ti-6Al-4V (США)	Композит – Д16Т + 16 % SiC	Алюмінієвий сплав – Д16Т
Щільність матеріалу	7,850	7,950	7,850	4,430	2,900	2,800

					КРБ.142.4227 зм.25.06.03.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		51

$\rho, \text{г/см}^3$						
Твердість матеріалу, HB	200 – 320	262 – 400	217–333	255 – 340	–	105
Межа міцності матеріалу при розтягуванні $\sigma_B, \text{МПа}$	910	940 – 1470	1000	≥ 930	547	460
Межа плинності матеріалу при розтягуванні $\sigma_{0,2}, \text{МПа}$	710	710 – 1170	850	≥ 862	465	300
Межа плинності матеріалу при стисненні $\sigma_{0,2}, \text{МПа}$	710	710 – 1170	850	917	–	285
Модуль нормальної пружності при розтягуванні матеріалу $E \cdot 10^{-3}, \text{МПа}$	204	150	204	105 – 115	110	71
Межа витривалості матеріалу $\sigma_{-1}, \text{МПа}$	392–490	475 – 774	447	560	–	135
Питома міцність матеріалу при розтягуванні $\sigma_{0,2}/\gamma^* \cdot 10^{-3}, \text{м}$	8,300	8,3 – 14,7	10,800	19,460	16	10,700
Питома міцність матеріалу при стисненні $\sigma_{0,2}/\gamma^* \cdot 10^{-3}, \text{м}$	8,300	8,3 – 14,7	10,800	20,700	–	10,180
Питома жорсткість матеріалу $E/\gamma^* \cdot 10^{-3}, \text{м}$	2600	1890	2600	2370 – 2600	3800	2530
Питома витривалість матеріалу $\sigma_{-1}/\gamma^* \cdot 10^{-3}, \text{м}$	5,00–6,24	6,00–9,700	5,700	12,640	–	4,800
Примітка – *. $\gamma = \rho \cdot g$, де ρ – густина; $g=9,81 \text{ м/с}^2$						

3.3. Розрахунок шатуна автомобільного двигуна типу 8ЧН 10,3/9,9 (General Motors 6.6L V-8 Duramax LML Turbo-Diesel)

Моделювання напружено-деформованого стану шатуна ДВЗ може бути реалізоване з різним рівнем деталізації конструктивних особливостей та відповідно умов його навантаження.

Для цього можуть бути застосовані математичні моделі різних класів складності, які характеризуються своєю повнотою та глибиною опису усіх особливостей конструктивної форми, властивостей обраного для виготовлення матеріалу, а також умов навантаження.

Ескізна проробка шатуна ДВЗ виконується на базі статистичних даних щодо його конструктивного виконання беручи за основу певні аналоги. Розрахунок на

міцність шатуна ДВЗ на сьогодні передбачає застосування від найпростіших методик та положень опору матеріалів у певних межах одновимірної теорії розрахунку, так і з використанням більш складних, точних математичних моделей розрахунку на міцність із розв'язанням, як плоских так і просторових математичних задач теорії пружності різними числовими методами (математичні моделі другого, а також третього рівнів).

При своїй експлуатації шатун ДВЗ постійно піддається дії змінних за часом різних сил, які змінюються в досить широких межах значень. При цьому обов'язково потрібно відмітити те, що навантаження на шатун ДВЗ в площині його хитання (схематично можна уявити як балку з шарнірними опорами) та в площі, яка перпендикулярна до площі хитання (схематично можна уявити як балку з жорстко закріпленими кінцями), є абсолютно різними. Виходячи з цього положення умов роботи шатуна розрахункова схема на міцність стрижня шатуна ДВЗ має вигляд наведений нижче на рисунку – 3.4.

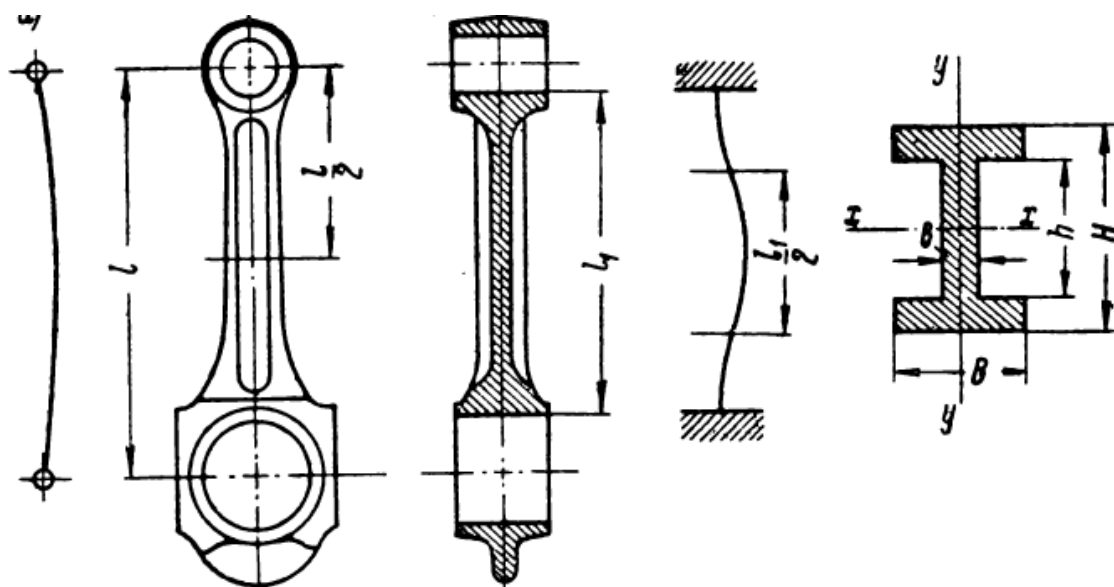


Рисунок 3.4 – Принципова схема розрахунку та характерні розміри стрижня шатуна ДВЗ тронкового типу

У сучасних форсованих ВОД сили інерції спричиняють досить значні напруження в стрижні шатуна ДВЗ. Тому необхідним та обов'язковим є додаткова перевірка міцності стрижня за схемою наведеною на рисунку – 3.5.

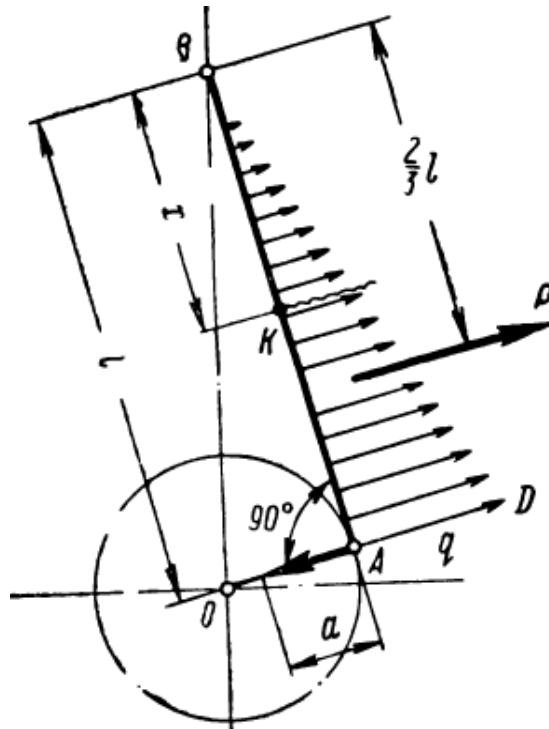
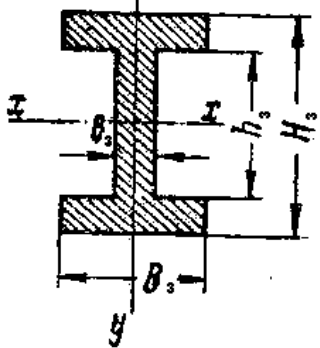


Рисунок 3.5 – Принципова схема розрахунку та характерні розміри стрижня шатуна ДВЗ трункового типу при вигині силами інерції

Розрахунок конструкції шатуна на міцність автомобільного двигуна типу 8ЧН 10,3/9,9 (General Motors 6.6L V-8 Duramax LML Turbo-Diesel) реалізується у середовищі MathCAD за наведеними розрахунковими схемами шатунів трункових ДВЗ – рис. 3.4–3.6. Результати розрахунків та залежності для визначення надано у табл. 3.2 та 3.3.

Таблиця 3.2 – Вихідні дані для розрахунку на міцність шатуна автомобільного двигуна типу 8ЧН 10,3/9,9 (General Motors 6.6L V-8 Duramax LML Turbo-Diesel)

№ з.п.	Параметр	Позначення/розмірність	Значення
Параметри ДВЗ			
1	Діаметр робочого циліндра	$D_{ц}$, мм	103
2	Максимальний тиск згоряння	P_z , МПа	16,238
3	Частота обертання	n , хв ⁻¹	3000
4	Середній індикаторний тиск	P_i , МПа	2,2023
5	Радіус кривошипа	r , мм	49,5
Основні конструктивні розміри шатуна ДВЗ			
6	Діаметр поршневого пальця	d_p , мм	40
7	Внутрішній діаметр верхньої голівки	$d_{в}$, мм	43
8	Зовнішній діаметр верхньої голівки	$d_{н}$, мм	54
9	Довжина верхньої голівки шатуна	$l_{в}$, мм	48

10	Діаметр шатунної шийки	$d_{ш}$, мм	65
11	Висота кришки нижньої голівки	l_3 , мм	12
12	Товщина стінки вкладиша	t , мм	2
13	Відстань між шатунними болтами	l_6 , мм	82
14	Довжина нижньої головки шатуна	l_n , мм	50
15	Розміри двутаврового перетину в середній частині стрижня шатуна 	H , мм B , мм b , мм h , мм	46 34 28 16
16	Довжина шатуна	l , мм	165
17	Довжина фаски вкладиша верхньої голівки шатуна	l_f , мм	0,25

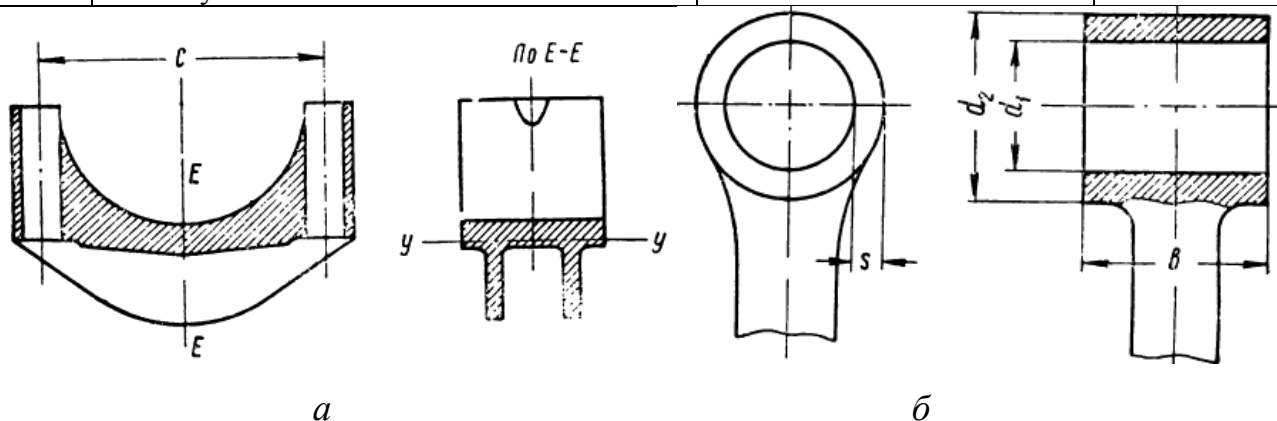


Рисунок 3.6 – Принципові схема розрахунку та характерні розміри елементів шатуна ДВЗ тронкового типу:

а – нижня кришка шатуна; б – верхня головка

Таблиця 3.3 – Результати розрахунку на міцність шатуна автомобільного двигуна типу 8ЧН 10,3/9,9 (General Motors 6.6L V-8 Duramax LML Turbo-Diesel)

№ з/п	Найменування	Розмірність	Формула для розрахунку	Значення
Розрахунок на міцність стрижня шатуна				
1	Момент інерції середнього перетину стрижня	мм ⁴	$I_x = \frac{B \cdot H^3 - (B - b) \cdot h^3}{12}$ $I_y = \frac{B^3 \cdot H - (B - b)^3 \cdot h}{12}$	$2,737 \cdot 10^5$ $1,504 \cdot 10^5$
2	Площа середнього перетину стрижня	мм ²	$f = B \cdot H - (b \cdot h)$	$1,116 \cdot 10^3$

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

КРБ.142.4227зст.25.06.03.ПЗ

Аркуш

55

3	Напруги в площині хитання шатуна	МПа	$\sigma_x := \frac{P_z \cdot \left(\pi \cdot \frac{D^2}{4} \right)}{f} + 0.000526 \cdot \frac{\left[P_z \cdot \left(\pi \cdot \frac{D^2}{4} \right) \cdot l^2 \right]}{l_x}$	128,314
4	Довжина стрижня в площині перпендикулярній площині хитання шатуна	мм	$l_1 = l - \left(\frac{d_B}{2} + \frac{d_{\text{ш}}}{2} \right)$	109,50
5	Напруги в площині перпендикулярній площині хитання шатуна	МПа	$\sigma_y = \frac{P_z \cdot \left(\pi \cdot \frac{D^2}{4} \right)}{f} + 0.000526 \cdot \frac{\left[P_z \cdot \left(\pi \cdot \frac{D^2}{4} \right) \cdot \frac{l_1^2}{2} \right]}{l_y}$	124,074
6	Питома вага сталі	кг/м ³	—	7850
7	Сила інерції елементів стрижня шатуна	Н/м	$q = f \cdot 10^{-9} \cdot \gamma \cdot r \cdot \left(\frac{3.14n}{30} \right)^2$	$4,276 \cdot 10^4$
8	Максимальний момент вигину	Н·м	$M_m = \frac{q \cdot \left(\frac{l}{1000} \right)^2}{16}$	72,752
9	Момент опору перерізу шатуна, відповідного максимальному моменту від згинання	м ³	$W_3 = \frac{B_3 \cdot H_3^3 + (B_3 - b_3) \cdot h_3^3}{6 \cdot H_3} \cdot 10^{-9}$	$1,208 \cdot 10^{-5}$
10	Напруга від згинання у стрижні шатуна	МПа	$\sigma_u = \frac{M_m}{W_3} \cdot 10^{-6}$	6,023
11	Сумарні умовні напруги	МПа	$\sigma_\Sigma = \frac{P_z \cdot \left(\pi \cdot \frac{D^2}{4} \right)}{f} + \sigma_u$	127,259

Розрахунок верхньої та нижньої голівки шатуна ДВЗ

12	Площа небезпечного перерізу верхньої голівки шатуна	мм ²	$f_b = (d_H - d_B) \cdot l_B$	600
13	Напруги верхньої голівки шатуна від розтягування. Допустимі напруги розтягування складає 40 МПа.	МПа	$\sigma_p = \frac{P_j \cdot \left(\pi \cdot \frac{D^2}{4} \right)}{f_b}$	30,584
14	Середній діаметр верхньої голівки	мм	$d_s = \frac{(d_H + d_B)}{2}$	53,5
15	Модуль пружності легованої сталі	МПа	—	$2,1 \cdot 10^5$
16	Момент інерції перетину верхньої голівки	мм ⁴	$I = 0.01 \cdot l_B \cdot (d_H - d_B)^3$	$1,350 \cdot 10^3$
17	Відносна деформація верхньої голівки шатуна	мм/мм	$\delta_{\text{вв}} = 0.017 \cdot \frac{P_j \cdot d_s^2}{E \cdot I}$	$3,780 \cdot 10^{-7}$
18	Робоча довжина вкладки	мм	$l_{\text{БК}} = l_B - (2 \cdot l_f)$	39,5

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

КРБ.142.4227зсм.25.06.03.ПЗ

Аркуш

56

19	Максимальний пито- мий тиск на вкладиш верхньої голівки ша- туна (для олов'янисто- фосфористі бронзи БрОФ7,0-0,2 допус- тимий тиск на повер- хню складає 90 МПа)	МПа	$K = \frac{P_z \cdot \left(\pi \cdot \frac{D^2}{4} \right)}{l_{BK} \cdot d_p}$	85,2633
20	Площа небезпечного перерізу нижньої го- лівки шатуна	см ²	$F_{\text{нн}} = l_3 \frac{l_H}{100}$	10,075
21	Момент опору небез- печного перерізу ни- жньої голівки	см ³	$W_H = \frac{\left(\frac{l_3}{10} \right)^2 \cdot \frac{l_H}{10}}{6}$	3,852
22	Сумарні напруги ни- жньої голівки шатуна від згинання та стиску	МПа	$\sigma'_\Sigma = \left(\frac{0.0236 \cdot \frac{l_6}{10}}{W_H} + \frac{0.5}{F} \right) \cdot P_j \cdot \left[3.14 \cdot \frac{\left(\frac{D}{10} \right)^2}{4} \right]$	18,081
23	Момент інерції небез- печного перетину ни- жньої голівки	мм ⁴	$I_{\text{нн}} = \frac{[l_H \cdot (l_3)^3]}{12}$	4,141 · 10 ⁴
24	Відносна деформація нижньої голівки ша- туна	мм/мм	$\delta_{\text{нн}} = 0.017 \cdot \frac{P_j \cdot l_6^2}{E \cdot I}$	3,111 · 10 ⁻⁸

3.4. Висновки до розділу

У розділі було розглянуто основне призначення та умови роботи шатунів різних типів та конструкцій ДВЗ. Було проаналізовано усі діючі у ДВЗ навантаження його шатунної групи, а також було розглянуто базові матеріали, що використовують провідні фірми виробники двигунів для виготовлення шатунів сучасних форсованих ДВЗ.

Виконано узагальнений розрахунок на міцність заданої будови шатуна та його нижньої кришки. За одержаними результатами розрахунку елементів шатунної групи автомобільного двигуна типу 8ЧН 10,3/9,9 (General Motors 6.6L V-8 Duramax LML Turbo-Diesel) було визначено, що сумарні напруги у стрижні шатуна даного двигуна складають – 127,259 МПа. Такі значення напруження повністю відповідають рекомендованим межам міцності за умов застосування при виробництві даного шатуна легованої сталі з подальшою термічною обробкою. Також, було встановлено, що відносна деформація верхньої головки автомобільного шатуна двигуна типу 8ЧН 10,3/9,9 (General Motors 6.6L V-8 Duramax LML Turbo-

Diesel) складає десь $3,780 \cdot 10^{-7}$ мм/мм, а нижньої відповідно – $3,111 \cdot 10^{-8}$ мм/мм, що є значно меншим за наявні норми (повинно бути менше ніж 0,0005 мм/мм).

Таким чином, за результатами проведених у даному розділі розрахунків можна зробити висновок, що усі напруги для шатуна автомобільного двигуна типу 8ЧН 10,3/9,9 (General Motors 6.6L V-8 Duramax LML Turbo-Diesel) за такого конструктивного його виконання знаходяться у допустимих межах та експлуатація двигуна з таким рівням форсування буде надійною.

					<i>КРБ.142.4227зст.25.06.03.ПЗ</i>	Аркуш
						58
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБКА ЗАХОДІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИМОГ ОХОРОНИ ПРАЦІ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТРАНСПОРТНИХ ДВЗ

4.1. Аналіз заходів техніки безпеки під час ремонтування і технічного обслуговування автомобільного колісного транспорту з ДВЗ

Високообертовий автомобільний дизель 6.6L V8 *Duramax LML* (за ДСТУ 8ЧН 10,3/9,9) встановлюється фірмою *General Motors* на повнорозмірні пікапи значної вантажопідйомності (додаткове маркування пікапу *HD*).

Відповідно, завданням розділу є – аналіз і розробка заходів з охорони праці та техніки безпеки при ремонтуванні й технічному обслуговуванні (ТО) автомобільного колісного транспорту. При реалізації зазначених дій над транспортним засобом потрібно чітко знати й коректно враховувати такі шкідливі й небезпечні виробничі фактори, як: досить висока температура деталей, вузлів та агрегатів ДВЗ в робочій зоні, а також повітря нагрітого від них; частини ДВЗ, які обертаються та ті, що рухаються зворотно-поступово; падіння важких частин самого автомобіля або деталей ДВЗ при демонтажу або встановленні на місце; висока напруга в електричному ланцюгу живлення; присутня шорсткості деяких поверхонь деталей ДВЗ або гострі краї чи можливі задирки; недостатнє або слабе підсвічення зони здійснення ремонтних робіт чи ТО; подразнюючі, токсичні, а подекуди отруйні речовини, що застосовують при ТО й ремонті (наприклад, миючі засоби, розчинники, лакофарбові речовини тощо); займисті та вибухонебезпечні рідини і гази (що можуть сприяти утворенню пожежі); підвищений рівень шуму та запиленості повітря зони виконання робіт.

Виходячи з перелічених шкідливих та небезпечних факторів можна виділити загальні вимоги охорони праці при ремонтуванні й технічному обслуговуванні (ТО) автомобільного колісного транспорту:

1. Під час ремонту та ТО автомобільного колісного транспорту з дизельними двигунами працівник зобов'язаний виконувати свої обов'язки відповідно до вимог чинної інструкції й її усіх положень.

					КРБ.142.4227зст.25.06.04.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		59

2. До виконання ремонту та ТО автомобільного колісного транспорту з дизельними двигунами допускаються особи, які досягли 18-річного віку, пройшли медичний огляд (мають відповідного стандарту довідку), успішно склали перевірку знань з питань техніки безпеки праці в установленому нормами порядку та отримали офіційний (підтверджений документом) допуск до самостійної діяльності.

3. Під час ремонтування та ТО автомобільного колісного транспорту з дизельними двигунами працівник повинен мати щонайменше другу групу з електробезпеки.

4. Під час ремонтування та ТО автомобільного колісного транспорту з дизельними двигунами робітник має чітко знати та суворо дотримуватися всіх вимог охорони праці, пожежної безпеки та відповідно виробничої санітарії.

5. Під час ремонтування та ТО автомобільного колісного транспорту з дизельними двигунами робітник зобов'язаний суворо дотримуватися вимог пожежної безпеки.

6. Роботи з колісним транспортним засобом слід виконувати виключно відповідно до технічної документації заводу виробника та рекомендацій щодо технологічного процесу ремонтування й ТО.

7. Під час ремонтування та ТО автомобільного колісного транспорту з дизельними двигунами робітник повинен пройти відповідне навчання з охорони праці, яке включає:

- інструктаж вступний;
- інструктаж первинний (на робочому місці);
- інструктаж повторний (у визначені нормами терміни);
- інструктаж позаплановий (за необхідності або у разі встановлених порушень);
- інструктаж цільовий (при внесенні змін у роботу);
- навчання спеціальне за програмою підготовки, що охоплює питання охорони праці та вимоги посадових обов'язків у відповідній сфері.

8. Перед тим як приступити до самостійної роботи, робітник зобов'язаний пройти стажування під прямим керівництвом досвідченого фахівця.

9. Під час ремонтування та ТО автомобільного колісного транспорту з дизельними двигунами робітник повинен:

- виконувати завдання, що входять до його безпосередніх обов'язків або доручень начальника, за таких умови, що він ознайомлений з усіма правилами безпечного виконання цих робіт;

- використовувати лише безпечні для життя методи виконання поставлених завдань;

- вміти надавати першу невідкладну (до прибуття швидкої) допомогу постраждалим колегам.

10. Дотримання правил внутрішнього розпорядку. Робітник зобов'язаний суворо дотримуватися всіх правил внутрішнього трудового розпорядку підприємства, а також графіку роботи, який включає: час початку та закінчення робочого дня; встановлені перерви для відпочинку й харчування (перерва на обід); порядок отримання днів відпочинку (відпустки); чергування встановлених змін роботи й інші важливі аспекти планування робочого часу на підприємстві.

11. Під час ремонтування та ТО автомобільного колісного транспорту з дизельними двигунами робітник зобов'язаний дотримуватися встановлених режимів праці й також відпочинку. Тривалість щоденної праці, перерв для відпочинку й прийому їжі (перерва на обід) визначається встановленими нормами. Час початку та закінчення робіт, а також час і місце для відпочинку та харчування визначаються згідно з графіками, затвердженими керівником підрозділу. Кожен робітник повинен своєчасно виходити на своє робоче місце, відпочивши й підготувавшись до виконання своїх обов'язків.

12. Перелік спецодягу, взуття та засобів індивідуального захисту, які надаються робітникові, визначається відповідно до правил і норм, з урахуванням специфіки виконуваних робіт.

Серед професійних ризиків й небезпек, що можуть загрожувати життю й здоров'ю робітників під час ремонтування та ТО автомобільного колісного транспорту з дизельними двигунами, можна виділити такі:

- ризик падіння через можливу втрату рівноваги робітником, зокрема при спотиканні чи підслизуванні на слизьких або вологих поверхнях;
- ризик падіння, спричинений досить раптовою появою великого перепаду висоти на шляху робітника;
- ризик удару;
- ризик вколювання або проколювання внаслідок впливу певних видів перешкод, що можуть загрожувати життю або здоров'ю робітника.

Усі ТО, за винятком тих, що регламентуються заводськими інструкціями, повинні проводитися з вимкненим двигуном й відключеним валом відбору потужності. Під час обслуговування педаль гальма необхідно зафіксувати в загальмованому положенні за допомогою блокувальної засувки. Агрегат для ТО слід розміщувати на горизонтальній поверхні в найбільш зручному місці відносно обслуговуваної машини, а також загальмувати і заземлити.

Перед проведенням ТО та ремонтування деталі, вузли й агрегати необхідно очистити від наявних забруднень. При очищенні машин стисненим повітрям слід використовувати захисні окуляри та респіратор, а струмінь повітря направляти подалі від себе.

Перед піддомкращуванням автомобіль потрібно розмістити на досить рівній горизонтальній поверхні. Під основу домкрата слід покласти дерев'яні підкладки, які запобігатимуть його зануренню в ґрунт. Біля домкрата необхідно встановити надійну підставку для забезпечення стійкості автомобіля.

Роботи з технічного обслуговування, усунення присутніх несправностей, очищення та миття здійснюються при вимкненому ДВЗ та заблокованих колесах.

Під час розбирання гідромеханічного акумулятора необхідно бути особливо обережним, оскільки пружина стиснута з зусиллям 2000Н. Забороняється перевіряти електрообладнання шляхом замикання генератора на масу. Усі ремонт-

					КРБ.142.4227зст.25.06.04.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		62

ні роботи, що передбачають електрозварювання на транспортному засобі, слід виконувати з вимкненим вимикачем «Маса». При обслуговуванні акумуляторних батарей важливо пам'ятати, що сірчана кислота (складова електроліту) може викликати опіки при контакті зі шкірою.

При використанні гайкових ключів слід обирати інструменти, які відповідають розмірам відповідних гайок, гвинтів і болтів. Не допускається використання ключів з тріщинами.

Суворо забороняється:

- застосовувати для виконання робіт несправну лебідкою вантажопідйомного пристрою;
- вносити зміни в електричні схеми;
- використовувати відкритий вогонь;
- відкручувати або підтягувати штуцери й інші гайки маслопроводів та гідравлічних шлангів під час роботи ДВЗ;
- користуватися ненадійними підставками;
- зливати гарячу охолоджуючу рідину та масло з систем, коли ДВЗ працює.

4.2. Розрахунки рівня шуму автомобільного двигуна 6.6L V8 Duramax LML (8ЧН 10,3/9,9)

Шум став невід'ємною складовою сучасного життя, особливо через використання автомобільного колісного транспорту. Методичний вплив шуму може мати серйозні наслідки для здоров'я людини, викликаючи різноманітні проблеми. Сучасні проведені дослідження вказують на те, що досить тривала експозиція шуму може призводити до стрімкого розвитку різних захворювань й порушень у людини. Досить поширеним наслідком шуму є підвищений рівень стресу у людини. Також постійний шум створює напругу у людини, що підвищує ризик виникнення у неї стресових станів й відповідно психологічних проблем.

Рівень шуму від автомобільного високообертового двигуна 6.6L V8 Duramax LML виробництва General Motors підраховується, як:

					КРБ.142.4227зст.25.06.04.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		63

$$L = \left[54 + 10 \cdot \lg(n_n + Ne^{0,55}) + 30 \lg\left(\frac{n}{n_n}\right) \right]$$

де n_n – номінальна частота – 3000 хв⁻¹; n – робоча частота – 1600 хв⁻¹; N_e – номінальна потужність – 296 кВт.

$$L = \left[54 + 10 \cdot \lg(3000 + 296^{0,55}) + 30 \lg\left(\frac{1600}{3000}\right) \right] = 80,61 \text{ дБ}$$

Рівень шуму від автомобільного високообертового двигуна 6.6L V8 Duramax LML виробництва General Motors згідно з рис. 4.1 повністю вкладається у норми.

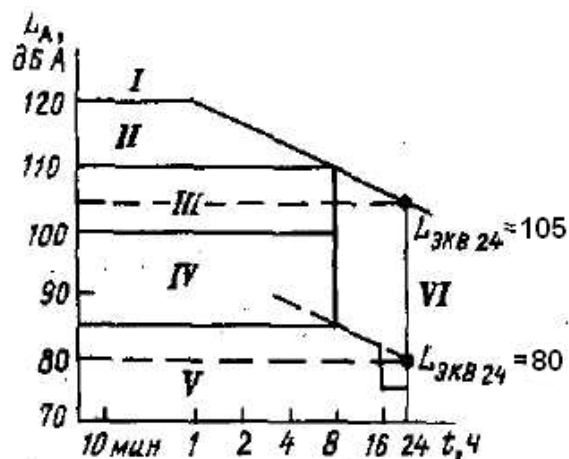


Рисунок 4.1 – Зони шуму

Рівень вібрації від автомобільного високообертового двигуна 6.6L V8 Duramax LML виробництва General Motors підраховується, як:

$$L = 44 + 10 \lg \left(\frac{n_n \cdot Ne^{0,55} \cdot \left(\frac{1 + Ne}{m} \right)}{1 + \left(\frac{1}{1500} \right)^3 \cdot \frac{m}{Ne}} + 30 \lg\left(\frac{n}{n_n}\right) \right)$$

де m – маса дизеля 6.6L V8 – 379 кг.

$$L = 44 + 10 \lg \left(\frac{3000 \cdot 296^{0,55} \cdot \left(\frac{1 + 296}{379} \right)}{1 + \left(\frac{1}{1500} \right)^3 \cdot \frac{379}{296}} + 30 \lg\left(\frac{1600}{3000}\right) \right) = 91,3 \text{ дБ}$$

Рівень вібрації від автомобільного високообертового двигуна 6.6L V8 Duramax LML виробництва General Motors повністю вкладається у норми.

4.3. Висновки до розділу

У цьому розділі наведено загальні заходи з техніки безпеки для робітників під час ремонтування та ТО автомобільного колісного транспорту з дизельними двигунами. Встановлено, що рівень вібрації й шуму від високообертового двигуна 6.6L V8 Duramax LML виробництва General Motors, який використовується фірмою GM в повнорозмірних пікапах, не перевищує встановлені норми і становить відповідно 80,610 дБ та 91,300 дБ.

					<i>КРБ.142.4227зст.25.06.04.ПЗ</i>	Аркуш
						65
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

Кваліфікаційна робота: «Розрахунок автомобільного двигуна типу 8ЧН 10,3/9,9» містить рекомендовані розділи та складається з комплексу розрахунків автомобільного високообертового дизельного двигуна.

Наведено опис конструкції автомобільного дизельного двигуна General Motors 6.6L V8 Duramax серії LML (8ЧН 10,3/9,9). Виконано моделювання номінального режиму роботи двигуна 8ЧН 10,3/9,9, а також розрахунки кінематики та динаміки. Одержано ряд графічних залежностей зміни параметрів робочого тіла (згорнута індикаторну діаграму у $p-V/V_c$ координатах, а також у $T-V/V_c$ і $T-S$;) та діючих сил (від тиску газів, інерції, рушійної, бічної, радіальної та тангенціальної).

Розглянуто основне призначення, умови роботи та діючі навантаження на елементи шатунної групи різних конструкцій. Розглянуто матеріали, що використовують провідні фірми виробники двигунів для виготовлення шатунів сучасних форсованих двигунів внутрішнього згорання. Виконано узагальнений розрахунок на міцність заданої будови шатуна та його нижньої кришки. За одержаними результатами розрахунку елементів шатунної групи автомобільного двигуна типу 8ЧН 10,3/9,9 (General Motors 6.6L V-8 Duramax LML Turbo-Diesel) було визначено, що сумарні напруги у стрижні шатуна даного двигуна складають – 127,259 МПа. Також, було встановлено, що відносна деформація верхньої головки шатуна складає – $3,780 \cdot 10^{-7}$ мм/мм, а нижньої – $3,111 \cdot 10^{-8}$ мм/мм, що є значно меншим за наявні норми.

Наведено загальні заходи з техніки безпеки для робітників під час ремонтування та технічного огляду автомобільного колісного транспорту з дизельними двигунами, а також розраховано рівень шуму і вібрації.

					КРБ.142.4227зст.25.06.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		66

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Абрамчук Ф. І., Гутаревич Ю.Ф., Долганов К.Є., Тимченко І.І. Автомобільні двигуни: Підручник. – К.: Арістей, 2004. – 474 с.
2. Марченко А. П., Рязанцев М. К., Шеховцов А. Ф. Двигуни внутрішнього згоряння : серія підручників у 6 т. Т. 2. Доводка конструкції форсованих двигунів наземних транспортних машин / ред. проф. А. П. Марченко та проф. А. Ф. Шеховцова. Харків : Прапор, 2004. – 288 с.
3. Абрамчук Ф. І., Двигуни внутрішнього згоряння: Серія підручників у 6 томах. Т.6 Надійність ДВЗ / Ф. І. Абрамчук, М. К. Рязанцев, А. Ф. Шеховцов / ред. проф. А. П. Марченко та засл. діяча науки України проф. А. Ф. Шеховцова. Харків : Прапор, 2004. – 324 с.
4. Марченко А. П., Рязанцев М. К., Шеховцов А. Ф. Двигуни внутрішнього згоряння : серія підручників у 6 т. Т. 1. Розробка конструкції форсованих двигунів наземних транспортних машин / ред. проф. А. П. Марченко та проф. А. Ф. Шеховцова. Харків : Прапор, 2004. – 384 с.
5. Двигуни внутрішнього згоряння. Теорія: Підручник / В.Г. Дяченко; За ред. А. П. Марченка. – Харків: НТУ “ХПІ”, 2008. – 488 с.
6. Основи теорії та динаміки автомобільних двигунів : підручник / В. Ф. Шапко, С. В. Шапко. – Харків : Точка, 2016. – 232 с.
7. Шапко В. Ф. Автомобільні двигуни. Основи теорії двигунів внутрішнього згоряння: підручник. Кременчук: Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, 2023. 180 с.
8. Гутаревич Ю.Ф. Транспортні енергетичні установки (традиційні, нетрадиційні та альтернативні), принцип роботи та особливості будови: Навчальний посібник. / Ю.Ф. Гутаревич, Л.П. Мержиєвська, О.В. Сирота, Д.М. Тріфонов – К.: НТУ, 2015. – 244 с.
9. Шапко В. Ф., Шапко С. В. Основи теорії та динаміки автомобільних двигунів: підручник. Харків: Точка, 2016. 232 с
10. ДСТУ 7239:2011 Система стандартів безпеки праці. Засоби індивідуального захисту. Загальні вимоги та класифікація.

					КРБ.142.4227зст.25.06.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		67