

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Національний університет «Запорізька політехніка»

Транспортний факультет  
Двигуни внутрішнього згорання

## **Пояснювальна записка**

до дипломного проекту (роботи)

магістра

на тему Дослідження впливу умов роботи акумуляторної батареї на запуск бензинового ДВЗ

Виконав: студент(ка) 2(м) курсу, групи T-411м  
Спеціальності 133 Галузеве машинобудування

Освітня програма (спеціалізація)

Двигуни внутрішнього згорання

Мірошніченко Ю.О.

Керівник ст. викладач, магістр Сухонос Р.Ф.

Рецензент к.т.н., доцент С. І. Дядя, завідувач  
кафедри «Технологія машинобудування»

Запоріжжя  
2022

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет «Запорізька політехніка»

Інститут, факультет Транспортний факультет

Кафедра Двигуни внутрішнього згорання

Ступінь вищої освіти магістр

Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»

Освітня програма (спеціалізація) «Двигуни внутрішнього згорання»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ДВЗ

Слинько Г. І.

2022 року

**З А В Д А Н Н Я**

**НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)**

Мірошніченко Юрій Олександрович

1. Тема проекту (роботи) Дослідження впливу умов роботи акумуляторної батареї на запуск бензинового ДВЗ

керівник проекту (роботи) ст.викладач, магістр Сухонос Р.Ф.,

затверджені наказом вищого навчального закладу від 28.11.2022 № 411

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 5 грудня 2022 року

3. Вихідні дані до проекту (роботи) система запуску 4-тактного бензинового двигуна Peugeot XU9J1

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) аналіз процесів в ДВЗ під час холодного запуску двигуна; описання методів досліджень та устаткування; тепловий розрахунок двигуна на номінальному режимі і на холостому ході; розрахунок теплопровідності стінки акумуляторної батареї; проведення експериментальних досліджень; аналіз отриманих результатів

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) індикаторні діаграми  $p(V)$ ,  $T(V)$  двигуна Peugeot XU9J1 на номінальному режимі та холостому ході ( $n = 750 \text{ хв}^{-1}$ ,  $n = 1000 \text{ хв}^{-1}$ ,  $n = 1250 \text{ хв}^{-1}$ ,  $n = 5800 \text{ хв}^{-1}$ ); залежність часу запуску двигуна від напруги АКБ; залежність густини теплового потоку та коефіцієнта теплопередачі від температури та товщини стінки АКБ

## 6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1-6	Сухонос Р.Ф., ст. викладач, магістр		
загальне керівництво	Слинько Г.І., д.т.н., професор		
нормо-контроль	Слинько В.В., ст. викладач		

7. Дата видачі завдання «01» вересня 2022 року.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Вступ	05.09.2021	
2	Аналіз процесів в ДВЗ під час холодного запуску двигуна	10.09.2021	
3	Описання методів досліджень та устаткування	20.10.2021	
4	Тепловий розрахунок двигуна на номінальному режимі	01.11.2021	
5	Тепловий розрахунок двигуна на холостому ході	15.11.2021	
6	Розрахунок теплопровідності стінки акумуляторної батареї	07.01.2022	
7	Проведення експериментальних досліджень	23.02.2022	
8	Аналіз отриманих результатів.	25.02.2022	
9	Формування висновків з магістерської роботи	25.06.2022	
10	Оформлення магістерської роботи, нормоконтроль	15.11.2022	
11	Розробка презентації та доповіді до захисту	08.12.2022	
12	Подання роботи до захисту	15.12.2022	

Студент(ка)

\_\_\_\_\_ Мірошніченко Ю.О.  
( підпис )

Керівник проекту (роботи)

\_\_\_\_\_ Сухонос Р.Ф.  
( підпис )

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 64 с., 12 рис., 10 табл., 24 джерел.

### АКУМУЛЯТОРНА БАТАРЕЯ, ГУСТИНА ТЕПЛООВОГО ПОТОКУ, КОЕФІЦІЄНТ ТЕПЛОПЕРЕДАЧІ, ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЯ, ХОЛОДНИЙ ЗАПУСК

В магістерській роботі досліджено актуальне питання експлуатації двигуна внутрішнього згорання із примусовим запалюванням за низьких температур атмосферного повітря. Проведено експериментальне дослідження визначення тривалості запуску двигуна при «холодному» запуску. Встановлено вплив робочих параметрів акумуляторної батареї на час запуску. За результатами проведених розрахунків термодинамічного циклу двигуна Peugeot XU9J1 на номінальному режимі та на обертах, характерних для холостого ходу, встановлено величину масових викидів неспалених вуглеводнів.

За результатом розрахунку теплопровідності стінки акумуляторної батареї розроблено рекомендації щодо їх термоізоляції.

Мета роботи – дослідження впливу умов роботи акумуляторної батареї на запуск двигуна з іскровим запалюванням.

Об'єкт дослідження – робочі процеси в двигуні внутрішнього згорання з електростартерним запуском та іскровим запалюванням.

Предмет дослідження – робочі показники акумуляторної батареї ДВЗ при зимовому запуску двигуна.

Результати роботи опубліковано в збірнику тез вузівської науково-практичної конференції «Тиждень науки-2022»

## ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 АНАЛІЗ ПРОЦЕСІВ В ДВЗ ПІД ЧАС ХОЛОДНОГО ЗАПУСКУ ДВИГУНА	9
1.1 Система повітряного пуску двигуна	9
1.2 Система електричного запуску двигуна	10
1.3 Принцип роботи системи електричного запуску двигуна	11
1.4 Особливості роботи акумуляторної батареї	13
1.5 Особливості запуску двигуна у зимових умовах	14
1.6 Висновки за розділом	15
2 АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ ТА МЕТОДИК ДОСЛІДЖЕННЯ	16
2.1 Аналіз конструкції та систем двигуна Peugeot XU9J1	16
2.2 Опис розрахунково-аналітичних методик дослідження	20
2.3 Опис експериментальних методик дослідження	22
2.4 Висновки за розділом	23
3 ТЕПЛОВИЙ РОЗРАХУНОК ДВИГУНА НА НОМІНАЛЬНОМУ РЕЖИМІ	24
3.1 Дані для теплового розрахунку на номінальному режимі	24
3.2 Початкові дані для розрахунку	25
3.3 Контроль і аналіз результатів розрахунку	33
3.4 Висновки за розділом	36
4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЧАСУ ХОЛОДНОГО ЗАПУСКУ ДВИГУНА	37
5 ТЕПЛОВИЙ РОЗРАХУНОК НЕПРОГРІТОГО ДВИГУНА НА РЕЖИМІ ХОЛОСТОГО ХОДУ	41
5.1 Розрахункова частина	41
5.2 Результати розрахунку	43
5.3 Розрахунок витрати палива на різних швидкісних режимах	46

5.4 Висновки за розділом	48
6 РОЗРАХУНОК ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ СТІНКИ АКУМУЛЯТОРНОЇ БАТАРЕЇ	49
6.1 Розрахунок теплопровідності стінки у зимову пору року	49
6.2 Розрахунок теплопровідності стінки в літню пору року	54
6.3 Висновки за розділом	58
ВИСНОВКИ	60
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	62

## ВСТУП

В магістерській роботі досліджено актуальне питання експлуатації двигуна внутрішнього згорання із примусовим запалюванням за низьких температурах атмосферного повітря. Проведено експериментальне дослідження визначення тривалості запуску двигуна. Встановлено вплив робочих параметрів акумуляторної батареї (АКБ) на час запуску. За результатами проведених розрахунків термодинамічного циклу двигуна Peugeot XU9J1 на номінальному режимі та на обертах, характерних для холостого ходу, встановлено величину масових викидів неспалених вуглеводнів. Шляхом розрахунку теплопередачі через стінку продемонстрований вплив температури навколишнього середовища та товщини стінки на теплопровідність АКБ, та приведені пояснення до результатів розрахунку.

В роботі обґрунтовано необхідність постійної термоізоляції АКБ у будь яку пору року. Це сприяє більш швидкому запуску двигуна, що дозволяє зменшити час неефективної витрати палива на початку його роботи, при низькій температурі навколишнього середовища, та запобігає порушенню цілісності корпусу при високих температурах.

Експериментально визначено напругу, яку створює АКБ при різних температурах, та різному ступеню заряду, і встановлено час, необхідний для холодного запуску бензинового двигуна.

Розроблено рекомендації до проектування та модернізації акумуляторних батарей призначених для експлуатації в екстремальних температурних умовах.

### **Мета і задачі дослідження**

Мета роботи – дослідження впливу умов роботи акумуляторної батареї на запуск двигуна з іскровим запалюванням.

Задачі дослідження:

– провести аналіз літературних джерел за темою дослідження;

- дослідити стан вивченості питання;
- виконати тепловий розрахунок двигуна на номінальному режимі та на режимах холостого ходу;
- розробити методику та провести експеримент з вимірами напруги, часу запуску двигуна, обертів колінчатого валу та температури навколишнього середовища та АКБ;
- розрахувати теплопровідність через стінку АКБ при різних температурах та при різній товщині стінки;
- зробити висновки та рекомендації.

**Об’єкт дослідження** – робочі процеси в двигуні внутрішнього згорання з електростартерним запуском та іскровим запалюванням.

**Предмет дослідження** – робочі показники акумуляторної батареї ДВЗ при зимовому запуску двигуна.

**Наукова новизна роботи:**

- розроблена методика розрахунку кількості викидів неспалених вуглеводнів внаслідок холодного запуску бензинового ДВЗ;
- отримані діаграми залежності коефіцієнта теплопередачі та густини теплового потоку від температури навколишнього середовища та від товщини стінки акумуляторної батареї ДВЗ.

**Практична цінність результатів дослідження:**

- розроблені рекомендації можуть бути використані на підприємствах та установах, де виготовляють та експлуатують ДВЗ.

Результати роботи опубліковано в збірнику тез вузівської науково-практичної конференції «Тиждень науки-2022»:

Вплив напруги акумуляторної батареї на швидкість запуску бензинового ДВЗ за низьких температур [Електронний ресурс] / Р. Ф. Сухонос, Ю. О. Мірошниченко // Тиждень науки-2022 : щоріч. наук.-практ. конф., 18-22 квітня 2022 р. : тези доп. / Редкол. : В.В. Наумик (відпов. ред.) Електрон. дані. – Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2022. – С. 146–148.

# 1 АНАЛІЗ ПРОЦЕСІВ В ДВЗ ПІД ЧАС ХОЛОДНОГО ЗАПУСКУ ДВИГУНА

У розділі розглянуто принципи запуску двигунів внутрішнього згорання, особливості конструкції систем запуску та умов їх роботи за низьких температур навколишнього середовища.

## 1.1 Система повітряного пуску двигуна

Для запуску двигуна використовується стиснене повітря. Як правило, на автомобілях пневматичні пускові системи не використовуються, проте їх можна зустріти на стаціонарних двигунах внутрішнього згорання і на військовій техніці.

Конструкція системи повітряного пуску двигуна передбачає наявність наступних елементів:

- повітряний балон;
- електроклапани;
- нафтовий танкер;
- зворотній клапан;
- повітророзподільник;
- пускові клапани;
- трубопроводи.

Принцип роботи системи повітряного запуску ДВЗ заснований на тому, що стиснене в повітряному балоні повітря під тиском подається в коробку-розподільник, далі проходить через фільтри в редуктор і надходить до електричного пневмоклапану [2].

Оператор/водій/машиніст натискає кнопку «пуск», після чого клапан відкривається, потім повітря з розподільника повітря проходить через пускові клапани і потрапляє в циліндри двигуна, створюючи тиск і розкручуючи колінчастий вал. Коли оберти досягають потрібної частоти, двигун запускається.

Такі силові установки можуть бути додатково оснащені електричною системою пуску від стартера, що дозволяє запустити силовий агрегат у тому випадку, якщо з повітряним пуском, який є основним способом, сталася поломка, або немає запасу стисненого повітря [2].

## 1.2 Система електричного запуску двигуна

Електрична система запуску (часто називається стартерною система пуску двигуна) складається з механічних та електричних вузлів та агрегатів. Основними елементами у схемі електричного пуску двигуна виступають:

- стартерний ланцюг;
- стартер;
- акумулятор.

Стартерний ланцюг фактично є електроланцюгом, яким електричний струм подається від акумуляторної батареї (АКБ) до стартера. До такого ланцюг входить провід, який з'єднує акумулятор і стартер, масу на кузов автомобіля, а також різні клеми і з'єднання, якими йде пусковий струм.

Основною функцією АКБ є забезпечення необхідної напруги для роботи стартера. Важливо, щоб АКБ мала потрібну ємність та рівень заряду не нижче 70 %, що дозволяє стартеру прокручувати колінчастий вал ДВЗ із необхідною для запуску частотою.

Стартер є електромотором. На валу стартера встановлена шестерня, яка після подачі напруги на стартер входить у зачеплення із зубчастим вінцем на

маховику двигуна. Так реалізована передача обертального моменту від стартера на колінчатий вал двигуна [2, 7].

Слід зазначити, що стартер споживає великий пусковий струм. При цьому для включення та вимкнення стартера використовується слаботочний перемикач, більш відомий як замок запалювання. Цей елемент здійснює управління спеціальним реле, а також блокувальними вимикачами стартера (за наявності).

Стартер з тяговим реле є електродвигуном постійного струму. Стартер складається зі статора, який є корпусом, ротора (якір), а також щіток із щіткотримачем, тягового реле та механізму приводу.

Тягове реле забезпечує живлення обмоток стартера, а також дозволяє працювати механізму приводу. Вказане тягове реле включає обмотку, якір, контактну пластину. Електричний струм подається на тягове реле через спеціальні болти.

Механізм приводу потрібен для передачі обертального моменту від стартера на колінчастий вал. Основними елементами конструкції є важіль приводу або вилка, що має повідкову муфту, демпферну пружину, а також обгінну муфту та провідну шестерню. Вказана шестерня входить у зачеплення із зубчастим вінцем маховика, який встановлений на колінчастого валу. Замок запалення після повороту ключа в положення «старт» відповідає за подачу постійного струму від АКБ на реле тягове стартера [2, 22].

### **1.3 Принцип роботи системи електричного запуску двигуна**

Система запуску двигуна забезпечує початкове прокручування колінчастого валу ДВЗ, завдяки чому в циліндрах відбувається запалення паливоповітряної суміші і двигун починає працювати самостійно.

У більшості сучасних автомобілів реалізовано електричну систему пуску двигуна. Також її часто називають стартерною системою запуску. Одночасно з обертанням колінчатого валу в роботу включається механізм газорозподілу (ГРМ), запалення та паливоподачі. Відбувається згоряння паливоповітряної суміші в камерах згоряння, і рух поршнів забезпечує провертання колінчатого валу. Після досягнення певних обертів колінчастого валу, двигун починає працювати самостійно, за інерцією.

Щоб запустити двигун, потрібно досягти певної частоти обертання колінчастого валу. Для різних типів двигунів це значення відрізняється. Для бензинового двигунів, які будуть розглянуті, мінімально необхідно  $40 \dots 70 \text{ хв}^{-1}$  [2].

До системи пуску двигуна входять такі основні елементи:

- механізм керування;
- акумуляторна батарея;
- стартер.

Ключовий елемент системи – стартер, який живиться від акумуляторної батареї. Це електродвигун постійного струму, що створює крутний момент, який передається маховику та колінчастому валу [2].

Після повороту ключа запалення в положення «запуск» замикається електричний ланцюг. Струм по «плюсовому» ланцюгу від акумулятора надходить на обмотку тягового реле стартера. Потім по обмотці зрушення струм проходить до плюсової щітки, потім по обмотці якоря на «мінусову» щітку. Так спрацьовує тягове реле. Рухомий сердечник втягується та замикає силові п'ятачки. При русі сердечника висувається вилка, яка штовхає привідний механізм (бендікс).

Після замикання силових п'ятаків від акумулятора подається пусковий струм «плюсовим» проводом на статор, щітки і ротор (якір) стартера. Навколо обмоток виникає магнітне поле, яке приводить у рух якір. Таким чином, електрична енергія від акумулятора перетворюється на механічну енергію.

Вилка, що під час руху втягує реле, виштовхує бендікс до вінця маховика. Так відбувається зачеплення. Якір обертається і надає руху маховик, який передає цей рух колінчастому валу. Після запуску двигуна маховик розкручується до певних обертів. Щоб не пошкодити стартер, спрацьовує обгінна муфта Бендікс. При певній частоті Бендікс обертається незалежно від якоря [2].

Після запуску двигуна та відключення запалення від положення «запуск» Бендікс приймає вихідне положення, а двигун далі працює самостійно.

#### **1.4 Особливості роботи акумуляторної батареї**

Від стану та потужності акумулятора залежить успішний запуск двигуна. Основними параметрами АКБ є ємність та струм холодного прокручування. Ці параметри вказуються на маркуванні, наприклад, 60/450 А. Ємність вимірюється в Ампер-годинах. Акумулятор має малий внутрішній опір, тому він може короткочасно віддавати великі струми, що в кілька разів перевищують його ємність. Вказаний струм холодного прокручування 450 А, але при дотриманні певних умов. Наприклад середнє значення пускового струму для бензинового двигуна – 255 А для успішного прокручування колінчастого валу, але це з урахуванням температури  $+18^{\circ}\text{C}$  або вище. При мінусовій температурі стартеру потрібно обертати колінчастий вал у загуслій моторній оливі, що підвищує опір прокручуванню [16, 17].

Однак струм, що подається на стартер, все одно буде менше зазначених значень, так як не враховується опір самого стартера і силових проводів. Цей струм називається пусковим струмом.

Акумулятор віддає пусковий струм на стартер протягом 5...10 с. Потім потрібно зробити паузу 5...10 с, щоб уникнути перегріву елементів системи запуску.

Якщо після спроби запуску напруга в бортовій мережі різко падає або стартер прокручується нерівномірно, ривками, це свідчить про сильний розряд АКБ. Якщо стартер видає характерні клацання, акумулятор остаточно «сів». Серед інших причин може бути поломка стартера [2, 20,21].

### **1.5 Особливості запуску двигуна у зимових умовах**

Добові та сезонні коливання температури мають значний вплив на робочі процеси, що відбуваються в двигунах внутрішнього згорання. Особливо це проявляється при запуску двигуна в зимовий період. Головні причини ускладненого запуску [9, 14, 15,18]:

- збільшення в'язкості моторної оливи збільшує гальмівний момент при прокручуванні колінчастого валу;
- збільшення зазорів між деталями циліндропоршневої групи зменшує компресію в циліндрах двигуна;
- погіршене сумішоутворення призводить до неповного згорання палива;
- зменшення ємності акумуляторних батарей (АКБ) призводить до зменшення частоти обертання електростартера та збільшення часу, потрібного для запуску двигуна.

На відміну від перших трьох факторів, останній проблемі в науковій літературі присвячено мало уваги.

Головними негативними ефектами збільшеного часу запуску двигуна є:

- зростання витрати палива;
- зростання викидів шкідливих речовин;

– при невдалому запуску – подальше зменшення заряду АКБ.

При мінусовій температурі внутрішній опір акумулятора підвищується, батарея «сідає» швидше, а також неохоче віддає необхідний пусковий струм. Для успішного пуску двигуна взимку АКБ має бути повністю заряджена і не повинна бути замерзлою. Додатково потрібно стежити за контактами на клеммах [2].

## **1.6 Висновки за розділом**

У розділі розглянуто будову системи електричного стартерного запуску двигунів внутрішнього згорання, принцип її роботи, наведені особливості експлуатації в зимових умовах.

## 2 АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ ТА МЕТОДИК ДОСЛІДЖЕННЯ

У розділі розглянуто об'єкт дослідження, представлено методику проведення експерименту із визначення умов запуску ДВЗ в зимовий період, методику теплового розрахунку двигуна, методику розрахунку теплопровідності стінки акумуляторної батареї.

### 2.1 Аналіз конструкції та систем двигуна Peugeot XU9J1

Двигун Peugeot XU9J1 (код DFZ) (рисунок 2.1): 4-тактний, бензиновий, рядний з поперечним розташуванням двигуна в передній частині автомобіля. Двигун об'ємом 1905 см<sup>3</sup> має один розподільний вал [3, 10, 11].

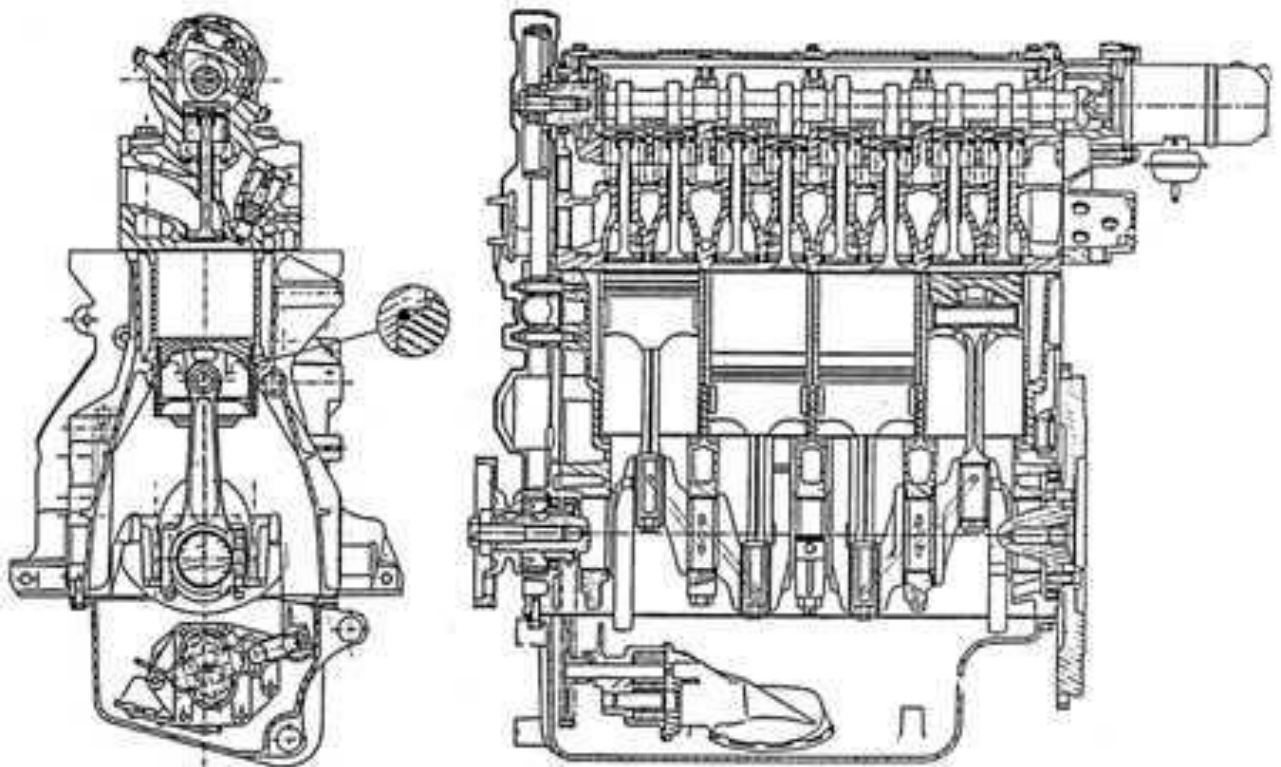


Рисунок 2.1 – Двигун Peugeot XU9J1. Поперечний та повздовжній перерізи

Основні параметри:

- діаметр циліндра  $D = 81$  мм;
- хід поршня  $S = 77$  мм;
- ступінь стиснення  $\varepsilon = 10$ .

**Головка блока циліндрів** зроблена з легкого сплаву та має вставлені сідла й напрямні клапанів. Підшипники розподільного валу виконані в матеріалі головки блока циліндрів. Головка блока циліндрів має 8 клапанів, встановлених паралельно між собою і під прямим кутом до нижньої поверхні головки. Сідла клапанів вставляють в головку блока циліндрів та не підлягають зміні. Напрямні клапанів вставні, виготовлені з чавуну або з латуні. Використовується по одній пружині на клапан. Впускні й випускні клапани мають однакові пружини. Штовхачі переміщуються безпосередньо в матеріалі головки блока циліндрів. Регулювання робочого зазору клапанів базується на встановленні регулювальних пластинок відповідної товщини між стержнями клапанів та штовхачами.

Блок циліндрів двигуна виготовлений з легкого сплаву та має встановлені мокрі гільзи циліндрів. Вставні гільзи циліндрів притискного типу, а герметичність забезпечується круглим ущільнювальним кільцем.

#### **Кривошипно-шатунний механізм.**

Колінчатий вал виготовлений з чавуну та опирається на п'ять корінних підшипників. Діаметр корінних шийок 60 мм, шатунних шийок 50 мм. Робочий зазор в корінних підшипниках – від 0,025 до 0,050 мм. Робочий зазор в шатунних підшипниках – від 0,025 до 0,050 мм.

Маховик прикріплений до колінчатого валу вісьмома болтами. Число зубів зубчатого вінця: 136.

Шатуни ковані зі сталі. Мають тонкостінні вкладиші, виготовлені з алюмінієво-олов'яного сплаву.

Поршні діаметром 83 мм виготовлені з легкого сплаву. Палець закріплюється в шатуні с натягом, а в поршні – вільно.

Поршневі кільця: 2 компресійних, 1 маслоз'ємне.

Стальні пальці відшліфовані. Кріпляться вільно в поршнях та з натягом в шатунах [3].

**Система газорозподілу** складається з установленого в голівці блока циліндрів розподільного валу, закріпленого в п'яти підшипниках та приведенного в дію зубчатим ременем. Розподільний вал керує роботою клапанів з допомогою штовхачів, споряджених пластинками регулювання зазору.

Фази газорозподілу визначаються с теоретичним зазором в 1 мм.

- відкриття впускного клапана –  $3^{\circ}$  запізнення;
- закриття впускного клапана –  $46^{\circ}$ ;
- відкриття випускного клапана –  $40^{\circ} 8'$ ;
- закриття випускного клапана –  $2^{\circ} 2'$ .

**Система мащення.** Мащення під тиском забезпечує масляний насос, що приводиться в дію ланцюгом від колінчатого валу. Датчик тиску масла відкоригований на 0,08 МПа. Корпус шестерні масляного насоса виготовлений з легкого сплаву. Тиск масла при температурі  $90^{\circ} \text{C}$ : 0,41 МПа при  $4000 \text{ хв}^{-1}$ . Масляний фільтр зі змінним елементом має приєднаний обвідний клапан.

Моторне масло SAE 10W/40 або 15W/50, об'ємом 5,0 л

**Система охолодження.** Двигун охолоджується під тиском (0,1 МПа) сумішшю води та спеціальною незамерзаючою рідиною. До складу системи охолодження входять: радіатор, насос охолоджуючої рідини, розширювальний бочок та вентилятор з електродвигуном.

Відцентрований насос охолоджуючої рідини встановлений в блоці циліндрів двигуна та приводиться в дію зубчатим ременем.

Радіатор має алюмінієву серцевину горизонтального потоку.

Термостат:

- температура початку відкриття:  $88^{\circ} \text{C}$ ;
- температура повного відкриття:  $100^{\circ} \text{C}$ .

Вентилятор приводиться в дію електродвигуном та має дві швидкості, які включаються і виключаються в залежності від температури охолоджуючої

рідини (див. табл. 2.1). Температура увімкнення контрольної лампочки на панелі приборів автомобіля  $110^{\circ}\text{C}$ .

Таблиця 2.1 – Режими роботи вентиляторів системи повітряного охолодження

Температура	1-ша швидкість	2-га швидкість
Увімкнення	$90^{\circ}\text{C}$	$94^{\circ}\text{C}$
Вимкнення	$86^{\circ}\text{C}$	$90^{\circ}\text{C}$

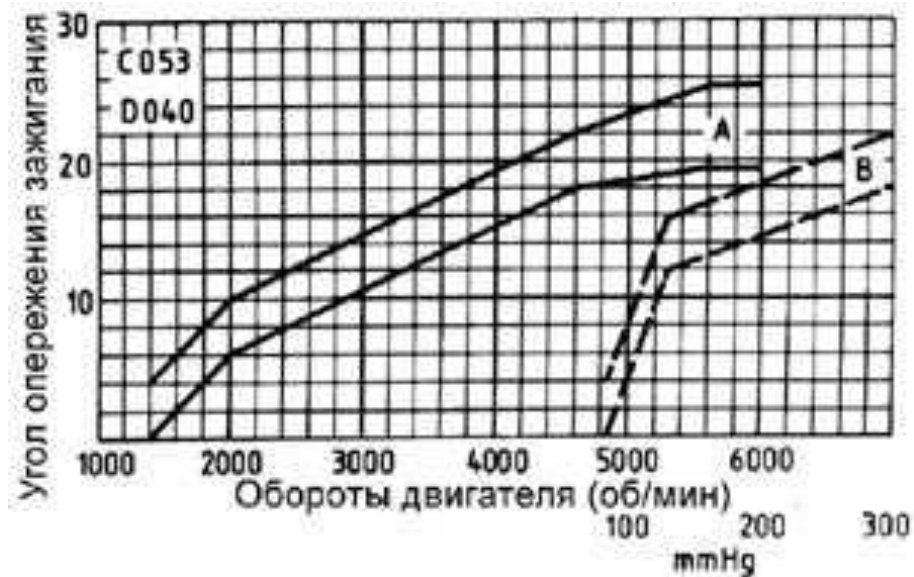
Охолоджуюча рідина у кількості  $6,6\text{ дм}^3$  потребує періодичної заміни та промивки контуру охолодження (кожні 2 роки) [3].

**Система живлення.** Паливний бак виготовлений зі штучного матеріалу та встановлений під підлогою перед задньою віссю. Об'єм баку  $70\text{ дм}^3$ . Паливний насос – електричний, знаходиться в паливному баку. Тиск, створюване паливним насосом при холостому ході:  $3,0 \pm 0,2\text{ бар}$ . Тип системи живлення Bosch LU2-JETRONIC. Рекомендоване паливо - бензин с мінімальним октановим числом 95.

**Система запалювання** – транзисторна безконтактна, має розподільвач з вбудованим датчиком ефекту Холла, а також регулятори – центробіжний та вакуумний.

Початковий кут випередження запалювання:  $10^{\circ}$  до ВМТ при  $850\text{ хв}^{-1}$ . Графік залежності кута випередження запалювання в залежності від обертів двигуна для регуляторів показано на рисунку 2.2.

Порядок запалювання циліндрів 1–3–4–2 (№ 1 – зі сторони приводу розподільного валу).



А – центробіжний регулятор; В – вакуумний регулятор

Рисунок 2.2 – Кут випередження запалювання

Опір обмотки котушки запалювання:

- первинної 0,7 Ом;
- вторинної 6,6 кОм.

Свічки запалювання Champion С7УСХ мають конусне ущільнення (не мають прокладки).

## 2.2 Опис розрахунково-аналітичних методик дослідження

Термодинамічний розрахунок циклу двигуна (тепловий розрахунок) бензинового двигуна з іскровим запалюванням виконуємо на чотирьох режимах:

- номінальний режим (режим максимальної потужності);
- режими, характерні для запуску та прогріву двигуна:  $n = 750 \text{ хв}^{-1}$ ,  $n = 1000 \text{ хв}^{-1}$ ,  $n = 1250 \text{ хв}^{-1}$ .

Теплові розрахунки виконуємо за допомогою комп'ютерної програми Engine Calculation [1], яка дозволяє розрахувати чисельним методом систему рівнянь фізико-математичної моделі професора Я. О. Єгорова [5]:

$$\left. \begin{aligned} dV &= F_{пгк} \left( \sin \varphi + \frac{\lambda_k}{2} \sin 2\varphi \right) d\varphi; \\ dm &= \Delta m_{тц} \cdot dx; \\ dT &= \frac{1}{c_v m} (dQ_c + dQ_w) - T \frac{dm}{m} - (k-1) \frac{dV}{V} T; \\ \frac{dp}{p} + \frac{dV}{V} &= \frac{dm}{m} + \frac{dT}{T}. \end{aligned} \right\} \quad (2.1)$$

Система рівнянь (2.1) включає чотири основні диференціальні рівняння:

– перше кінематичне рівняння, або рівняння зміни об'єму робочої порожнини;

– рівняння балансу маси;

– рівняння енергетичного балансу;

– рівняння стану робочого тіла.

Також фізико-математична модель включає додаткові рівняння [1].

Результатом теплового розрахунку двигуна є його ефективні показники двигуна (ефективна потужність  $N_e$ , ефективна питома витрата палива  $g_e$ ).

Теплопередача – це процес переносу теплоти від теплоносія (поток газу або рідини) до тепловбирача (поток газу або рідини з температурою меншою ніж теплоносій) крізь проміжну тверду стінку (оболонку) довільної геометричної конфігурації (плоску, циліндричну, сферичну) [12].

Теплопередача – складний фізичний процес, який залежить від багатьох факторів та параметрів, що визначають величину коефіцієнта теплопередачі  $k$ , Вт/(м<sup>2</sup>·К). Тобто  $k$  – не є фізичною властивістю процесу та характеризує його інтенсивність; значення  $k$  визначаються виключно розрахунковим шляхом.

Коефіцієнти  $\alpha_1$  і  $\alpha_2$  можуть характеризувати конвективну тепловіддачу (тоді  $\alpha_1 = \alpha_{конв1}$ ,  $\alpha_2 = \alpha_{конв2}$ ), тепловіддачу випромінюванням (тоді  $\alpha_1 = \alpha_{випр1}$ ,

$\alpha_2 = \alpha_{\text{випр}2}$ ; якщо теплоносієм або тепловбирачем є рідина, тоді  $\alpha_{\text{випр}1}$ ,  $\alpha_{\text{випр}2}$  дорівнюють нулеві) або сумарну, тобто радіаційно-конвективну тепловіддачу (конвекцію і випромінювання, тоді  $\alpha_1 = \alpha_{\Sigma 1}$ ,  $\alpha_2 = \alpha_{\Sigma 2}$ ) [12].

### 2.3 Опис експериментальних методик дослідження

Проведено експериментальні дослідження із визначення впливу напруги АКБ на умови запуску автомобільного ДВЗ у зимню пору року, при температурі нижче нуля. Головними вимогами до експерименту є безпосередньо температура навколишнього середовища та обов'язковий запуск саме холодного двигуна (досліджується саме холодний запуск). Холодний запуск характерний своїм довготривалим процесом.

Під час експерименту ведеться відеозапис на дві камери. Перша записує показники на панелі приборів, а друга веде запис вимірювального приладу, підключеного до акумуляторної батареї. В якості вимірювального приладу використовується мультиметр, який під'єднаний безпосередньо до клем АКБ.

Для більшої достовірності експеримент проведений неодноразово на автомобілі Peugeot 405 1987 року випуску з двигуном Peugeot XU9J1.

Результати вимірів заносяться в електронний документ Excel та на їх основі побудовано графік залежності часу запуску двигуна від напруги акумуляторної батареї.

## **2.4 Висновки за розділом**

У розділі розглянуто об'єкт дослідження – двигун Peugeot XU9J1, конструкцію та параметри його механізмів та систем; методику проведення експерименту із визначення умов запуску ДВЗ в зимовий період; методику теплового розрахунку двигуна; методику розрахунку теплопровідності стінки акумуляторної батареї.

### 3 ТЕПЛОВИЙ РОЗРАХУНОК ДВИГУНА НА НОМІНАЛЬНОМУ РЕЖИМІ

Відповідно до методики, наведеної в розділі 2.2, виконуємо термодинамічний розрахунок циклу двигуна Peugeot XU9J1 на номінальному режимі роботи. В ході розрахунку визначено індикаторні та ефективні показники двигуна, а також значення температури та тиску протягом робочого циклу в циліндрі.

#### 3.1 Дані для теплового розрахунку на номінальному режимі

Вихідні дані для розрахунку [3]:

- двигун	Peugeot XU9J1;
- потужність	$N_e = 74$ кВт;
- частота обертання валу	$n = 5800$ хв <sup>-1</sup> ;
- число циліндрів	$i = 4$ ;
- розташування циліндрів	рядне;
- тиск наддуву	$p_k = 0,102$ МПа;
- температура повітря	$T_o = 298$ К;
- ступінь стиснення	$\varepsilon = 10$ ;
- коефіцієнт надлишку повітря	$\alpha = 0,91$ ;
- діаметр циліндра	$D = 0,081$ м.
- хід поршня	$S = 0,077$ м
- тактність	4;
- вид палива	бензин.

### 3.2 Початкові дані для розрахунку

Початкові дані для розрахунку готуються в два етапи. На першому етапі виконують попередні розрахунки, щоб оцінити основні розміри циліндра, необхідні при використанні прийнятої ФММ.

За допомогою графіку, побудованого на підставі статистичних даних, [1, рис. 2.1] виконують оцінку очікуваної величини середнього ефективного тиску  $p_e$  залежно від тиску наддуву  $p_k$ , температури наддувочного повітря  $T_k$  і типу двигуна.

Далі на основі формули ефективної потужності

$$N_e = i \cdot V_h \cdot p_e \cdot \frac{n}{\tau} \quad (3.1)$$

розраховуємо робочий об'єм даного циліндра

$$V_h = \frac{60 \cdot N_e \cdot \tau}{i \cdot p_e \cdot n} \quad (3.2)$$

$$V_h = \frac{60 \cdot 74 \cdot 10^3}{4 \cdot 0,93 \cdot 10^6} \cdot \frac{2}{5800} = 0,0004115 \text{ м}^3$$

Радіус кривошипа:

$$r_k = \frac{S}{2} \quad (3.3)$$

$$r_k = \frac{0,077}{2} = 0,0385 \text{ м.}$$

Уточнюємо робочий об'єм циліндра

$$V_h = \frac{\pi D^2}{4} S \quad (3.4)$$

$$V_h = \frac{3,14 \cdot 0,081^2}{4} \cdot 0,077 = 0,00039658 \text{ м}^3$$

Далі розраховуємо усі величини, які являються початковими при використанні ФММ [1].

I. Код двигуна.

Код двигуна  $Y=0$  в програмі впливає на вибір теплоємностей робочого тіла, які залежать від складу і температури робочого тіла. Встановлені коди: для бензинових  $Y=0$ .

II. Вид розрахунку: номінальний.

III. Тип двигуна.

Тип двигуна (бензиновий або дизельний) впливає на вид палива і характер процесу згорання, який залежить від способу сумішоутворення.

1. Теплота згорання палива  $H_u = 44 \text{ МДж/кг}$ .

2. Показник процесу згорання вибирають на основі рекомендацій за емпіричними даними, для бензинових ДВЗ  $m_1=3,2\dots4,0$ . Приймаємо  $m_1 = 3,2$ .

IV. Конструктивні данні

3. Кількість циліндрів  $i = 4$ .

4. Рядний.

5. Діаметр циліндра  $D = 0,081 \text{ м}$ .

6. Площа поршня є площею плоскої поверхні поршня, перпендикулярної осі циліндра, вона дорівнює

$$F_n = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \quad (3.5)$$

$$F_n = \frac{3,14}{4} \cdot 0,081^2 = 0,00515239 \text{ м}^2$$

7. Радіус кривошипа  $r_k = 0,0385 \text{ м}$

8. Відношення радіусу кривошипа до шатуна  $r_k/L_{ш}$  є конструктивним параметром що характеризує геометрію кривошипно-шатунного механізму.

Величину  $\lambda_k$  вибирають за практичними рекомендаціями, для автотракторних ДВЗ  $\lambda_k = 0,25 \dots 0,32$  [1]. Обираємо  $\lambda_k = 0,25$ . Тоді

$$L_{ш} = \frac{r_k}{\lambda_k} \quad (3.6)$$

$$L_{ш} = \frac{0,0385}{0,25} = 0,154 \text{ м}$$

9. Площа теплообміну поршня  $F_n^{\wedge}$  залежить від конфігурації днища. При плоскому днищі  $F_n^{\wedge} = F_n$ . Залежно від типу двигуна і виду камери обираємо з розділеними камерами  $F_n^{\wedge} \approx F_n$ . У нашому випадку:

$$F_n^{\wedge} = (1 \dots 1,1) \cdot F_n \quad (3.7)$$

$$F_n^{\wedge} = 1 \cdot 0,00515239 \text{ м}^2$$

10. Площа теплообміну кришки  $F_k$  залежить від конструкції камери стиснення. Для бензинових ДВЗ має місце співвідношення  $F_k = (1,0 \dots 1,1) \cdot F_n$ .

$$F_k = (1 \dots 1,1) \cdot F_n \quad (3.8)$$

$$F_k^{\wedge} = 1,1 \cdot 0,00566729 \text{ м}^2$$

11. Об'єм камери стиснення розраховують за співвідношенням

$$V_c = \frac{\pi}{2} D^2 \cdot r_k \frac{1}{\varepsilon - 1} \quad (3.9)$$

$$V_c = \frac{3,14}{2} \cdot 0,081^2 \cdot 0,0385 \cdot \frac{1}{10 - 1} = 0,0000440644 \text{ м}^3.$$

V. Наддув двигуна.

12. Тиск за відсутності наддуву  $p_k = 0,102$  МПа.

13. Температура повітря на вході в двигун за відсутності наддуву  $T_k = T_0 = 298$  К.

## VI. Регулювальні дані.

14. Кут початку згорання  $\varphi_c$  залежить від кута випередження запалення  $\Delta\varphi_{оп}$  у бензинових ДВЗ. Тоді

$$\begin{aligned}\varphi_c &= 360 - \Delta\varphi_{оп} & (3.10) \\ \varphi_c &= 360 - 20 = 340^\circ\end{aligned}$$

де  $\Delta\varphi_{оп} = 10\dots25^\circ$  - величина, яка залежить від швидкості двигуна, розмірів і типу камери згорання. [1]

15. Кут кінця згорання пов'язаний з кутовою тривалістю згорання  $\Delta\varphi_{сг}$ , яка визначається в залежності від типу двигуна

$$\begin{aligned}\varphi_z &= \varphi_c + \Delta\varphi_{сг} & (3.11) \\ \varphi_z &= 340 + 40 = 380^\circ\end{aligned}$$

де для бензинових ДВЗ  $\Delta\varphi_{сг} = 40\dots60^\circ$ .

16. Кутова швидкість обертання кривошипа  $\omega$ , рад/с, визначається за індивідуальним завданням в залежності від частоти обертання колінчатого валу  $n$ ,  $c^{-1}$ :

$$\begin{aligned}\omega &= 2\pi \frac{n}{60} & (3.12) \\ \omega &= 2 \cdot 3,14 \cdot \frac{5800}{60} = 728,48 c^{-1}\end{aligned}$$

17. Коефіцієнт надлишку повітря  $\alpha$  на номінальному режимі  $\alpha = 0,91$ .

18. Циклова подача палива знаходиться в залежності від циклового заряду повітря [1].

Цикловий масовий заряд повітря в циліндрі

$$\Delta m_{вц} = V_h \cdot \rho_k \cdot \eta_v \quad (3.13)$$

$$\Delta m_{\text{вц}} = 0,00039658 \cdot 1,19 \cdot 0,66 = 0,000310473 \frac{\text{кг}}{\text{цикл}},$$

де  $\rho_k$  – щільність заряду на вході в циліндр визначається за формулою

$$\rho_k = \frac{p_k}{RT_k}, \quad (3.14)$$

$$\rho_k = \frac{0,102 \cdot 10^6}{287 \cdot 302,2} = 1,19 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

Коефіцієнт наповнення дорівнює

$$\eta_v = \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \cdot \frac{p_k - \Delta p_{\text{вп}}}{p_k} \cdot \frac{T_k}{T_k + \Delta T + \gamma T_r} \quad (3.15)$$

$$\eta_v = \frac{10}{10 - 1} \cdot \frac{0,102 \cdot 10^6 - 15,3 \cdot 10^3}{0,102 \cdot 10^6} \cdot \frac{298}{298 + 20 + 0,1 \cdot 1100} = 0,66$$

де  $\Delta p_{\text{вп}} = (0,05 \dots 0,15)p_k$  – втрата тиску на впуску;

$\Delta T = 0 \dots 20$  К – підігрів заряду на впуску для бензинових ДВЗ;

$\gamma = 0 \dots 0,1$  – коефіцієнт залишкових газів;

$T_r = 900 \dots 1100$  К – температура залишкова газів для бензинових ДВЗ.

Циклова масова подача палива

$$\Delta m_{\text{тц}} = \frac{\Delta m_{\text{вц}}}{\alpha \cdot l_0} \quad (3.16)$$

$$\Delta m_{\text{тц}} = \frac{0,000310473}{0,91 \cdot 14,96} = 0,0000228795 \frac{\text{кг}}{\text{цикл}}$$

де  $l_0 = 14,96$  кг/кг – теоретично необхідна кількість повітря при згоранні 1 кг бензинового палива.

19. Середня температура стінок  $T_w$  залежить від типу двигуна, рівня форсування, режиму роботи матеріалів основних деталей (поршня, кришки,

клапанів, циліндрів). На номінальному режимі роботи для деталей з сталі та чавуну  $T_w = 550 \dots 650$  К. Приймаємо  $T_w = 550$  К [1].

#### VIII. Початкові умови.

До початкових умов відносять усі параметри робочого тіла на початку розрахунку. У цій ФММ початок розрахунку відповідає точці «а» на індикаторній діаграмі, при положенні поршня в НМТ і куті повороту кривошипа  $\varphi = 180^\circ$ . Початок відліку кута  $\varphi$  відповідає положенню поршня у ВМТ.

#### 20. Початковий тиск дорівнює

$$p_a = p_k - \Delta p_{en} \quad (3.17)$$

$$p_a = 0,102 \cdot 10^6 - 15,3 \cdot 10^3 = 86,7 \text{ кПа}$$

21. Початкова температура оцінюється за допомогою формули, отриманої на основі балансу енергії впуску [1]:

$$T_a = \frac{1}{1+\gamma} (T_k + \Delta T_{en} + \gamma T_r) \quad (3.18)$$

$$T_a = \frac{1}{1,1} \cdot (298 + 20 + 0,1 \cdot 1100) = 389,1 \text{ К.}$$

22. Початкова маса робочого тіла в циліндрі дорівнює сумі масових кількостей свіжого заряду і залишкових газів, а отже:

$$m_a = (1 + \gamma) \cdot \Delta m_{вц} \quad (3.19)$$

$$m_a = 1,1 \cdot 0,000311473 = 0,00034262 \frac{\text{кг}}{\text{цикл}}$$

#### 23. Початковий об'єм циліндра

$$V_a = \frac{\varepsilon}{\varepsilon-1} \cdot V_h \quad (3.20)$$

$$V_a = \frac{10}{10 - 1} \cdot 0,00039658 = 0,000440644 \text{ м}^3$$

Початкові параметри повинні задовольнити рівняння стану, яке в даному випадку дорівнює:  $p_a V_a = R m_a T_a$

$$86,7 \cdot 10^3 \cdot 0,000440644 = 287 \cdot 0,00034262 \cdot 389,1$$

$$38,2 = 38,26$$

Похибка при рівнянні складає 0,0015%, що є в межах допустимого.

IX. Дані до динамічного розрахунку.

24. Для виконання динамічного розрахунку необхідно знати маси частин, що поступально рухаються і обертаються.

Приведена маса частин, що поступально рухаються, включає масу поршневого комплексу (поршня, пальця, кілець) і частину маси шатуна, віднесеної до осі поршневого пальця:

$$m_A = (m_n + (0,2 \dots 0,3)m_{ш}) \cdot F_n \quad (3.21)$$

$$m_A = (100 + 0,2 \times 150) \cdot 0,00515239 = 0,669 \text{ кг ,}$$

де коефіцієнт 0,25 представляє частину маси шатуна, віднесеної до осі поршневого пальця.

Величини  $m_n$ ,  $m_{ш}$  визначаються на основі статистичних даних існуючих конструкцій ДВЗ [1, табл. 2.3]

X. Розрахунковий крок рівний  $\varphi = 1^\circ$ .

Всі розраховані дані зводимо до таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Початкові дані для розрахунку робочого циклу двигуна Peugeot XU9J1 на номінальному режимі до програми Engine Calculation.

№	Найменування величини	Численні величини	Позначення та одиниці виміру
		Номінальний режим	
I.	<b>Код двигуна</b> (1-дизельний, 2-бензиновий)	2	Y
II.	<b>Вид розрахунку</b> (1-номінальний, 2-дослідницький)	1	-
III.	<b>Тип двигуна</b> 1. Теплота згорання палива 2. Показник процесу згорання	44 3,2	$H_{ит}$ , МДж/кг $m_1$
IV.	<b>Конструктивні дані</b> 3. Кількість циліндрів 4. Рядний(1), V-подібний(0) 5. Діаметр циліндра 6. Площа поршня 7. Радіус кривошипа 8. Відношення $\lambda_k = r_k/L_{ш}$ 9. Площа теплообміну поршня 10. Площа теплообміну кришки 11. Об'єм камери стиснення	4 1 0,081 0,00515239 0,0385 0,25 0,00515239 0,00566729 0,0000440644	$i$ - $D$ , м $F_{п}$ , м <sup>2</sup> $r_k$ , м $\lambda_k$ $F_{п}'$ , м <sup>2</sup> $F_k$ , м <sup>2</sup> $V_c$ , м <sup>3</sup>
V.	<b>Наддув</b> 12. Тиск наддуву 13. Температура наддувочного повітря	0,102 298	$p_k$ , МПа $T_k$ , К
VI.	<b>Регулювальні дані</b> 14. Кут початку згорання 15. Кут кінця згорання	340 380	$\varphi_c$ , град $\varphi_z$ , град
VII.	<b>Режимні данні</b> 16. Кутова швидкість валу 17. Коефіцієнт надлишку повітря 18. Циклова подача палива 19. Середня температура стінок	728,48 0,91 0,0000228795 550	$\omega$ , рад/с $\alpha$ $\Delta m_{тп}$ , кг/цикл $T_w$ , К
VIII.	<b>Початкові умови</b> 20. Тиск 21. Температура 22. Маса робочого тіла 23. Об'єм робочої порожнини	86,7 389,1 0,00034262 0,000440644	$p_a$ , кПа $T_a$ , К $m_a$ , кг/цикл $V_a$ , м <sup>3</sup>
IX.	<b>Дані до динамічного розрахунку</b> 24. Маса поступально рухаючих частин (приведена)	0,669	$m_A$ , кг
X.	<b>Розрахунковий крок</b>	1	$\Delta\varphi$ , град.

Магістрант групи Т-411м

Мірошниченко Ю.О.

Керівник

Сухонос Р.Ф.

### 3.3 Контроль і аналіз результатів розрахунку

Після розрахунку термодинамічного циклу в програмі Engine Calculation отримано протокол – таблицю теплового розрахунку для повного циклу ( $\varphi = 0 \dots 720^\circ$  п.к.в.) (див. табл. 3.2).

Контроль величиною для оцінки результатів розрахунку є ефективна потужність двигуна, яка розраховується за формулою:

$$N_e = i \cdot L_i \cdot \frac{n}{\tau} \cdot \eta_m \quad (3.22)$$

$$N_e = 4 \cdot 433,33 \cdot \frac{5800}{2 \cdot 60} \cdot 0,85 = 71,21 \text{ кВт}$$

де  $\eta_m$  – механічний ККД двигуна, який враховує вплив механічних втрат.

$$\frac{74-71,21}{74} \cdot 100 = 3,7 \%$$

Похибка складає 3,7 % (максимально допустима 10 %).

Розраховуємо ефективну питому витрату палива

$$g_e = g_i / \eta_m = 0,186669 / 0,85 = 0,219611 \text{ кг/(кВт}\cdot\text{год)}. \quad (3.23)$$

Основним параметрами, які характеризують механічну та термічну напруженість деталей двигуна є тиск і температура робочого тіла. У протоколі теплового розрахунку знаходимо величини максимального тиску  $p_{\max} = 7,03$  МПа і максимальної температури  $T_{\max} = 3806,3$  К. Для забезпечення надійної і тривалої роботи двигуна треба, щоб вони не перевершували відповідні максимально доступні  $p_{\text{доп}}$  і  $T_{\text{доп}}$  [1, т. 2.6].

Таблиця 3.2 – Протокол теплового розрахунку двигуна Peugeot XU9J1  
(номінальний режим)

φ, °п.к.в.	P, Па	T, К	m, г	V, м <sup>3</sup>
0	86700	392,9	0,337	0,00004
30	86700	392,9	0,337	0,00008
60	86700	392,9	0,337	0,00016
90	86700	392,9	0,337	0,00027
120	86700	392,9	0,337	0,00036
150	86700	392,9	0,337	0,00042
180	83483,45	393,0	0,337	0,00044
210	89624,77	402,4	0,337	0,00042
240	111761,7	429,9	0,337	0,00036
270	170339,1	486,1	0,337	0,00027
300	344181,7	594,8	0,337	0,00016
330	973082	798,4	0,337	0,00008
360	4705029	2136,6	0,345	0,00004
390	7031706	2996,2	0,359	0,00008
420	1420687	2301,7	0,359	0,00016
450	719130,3	1923,7	0,359	0,00027
480	476210,9	1717,1	0,359	0,00036
510	381333,4	1604,9	0,359	0,00042
540	347120,6	1552,4	0,359	0,00044
570	205557	1552,4	0,359	0,00042
600	115900	1552,4	0,359	0,00036
630	115900	1552,4	0,359	0,00027
660	115900	1552,4	0,359	0,00016
690	115900	1552,4	0,359	0,00008
720	115900	1552,4	0,359	0,00004

За даними протоколу теплового розрахунку будемо індикаторні діаграми для номінального режиму в системах координат  $p(V)$ ;  $T(V)$  (див рис. 3.1, 3.2).

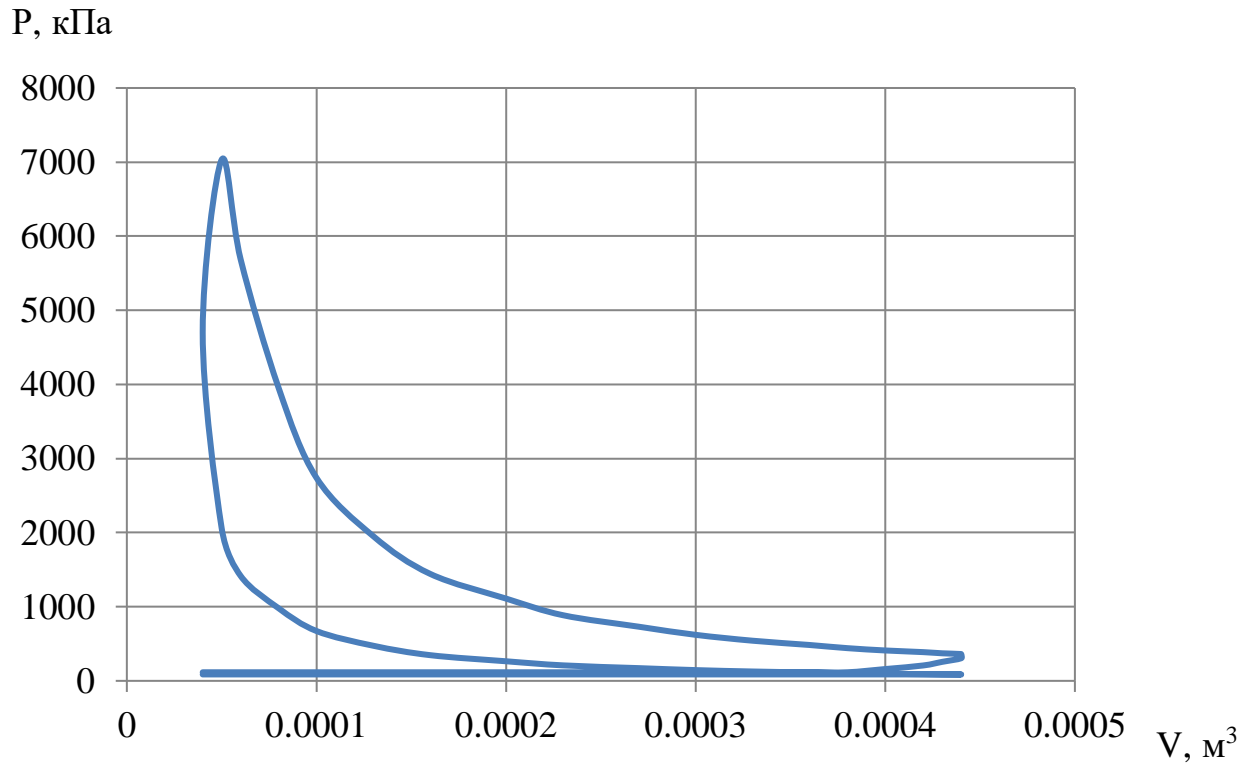


Рисунок 3.1 – Індикаторна діаграма  $p(V)$  номінального режиму двигуна Peugeot XU9J1

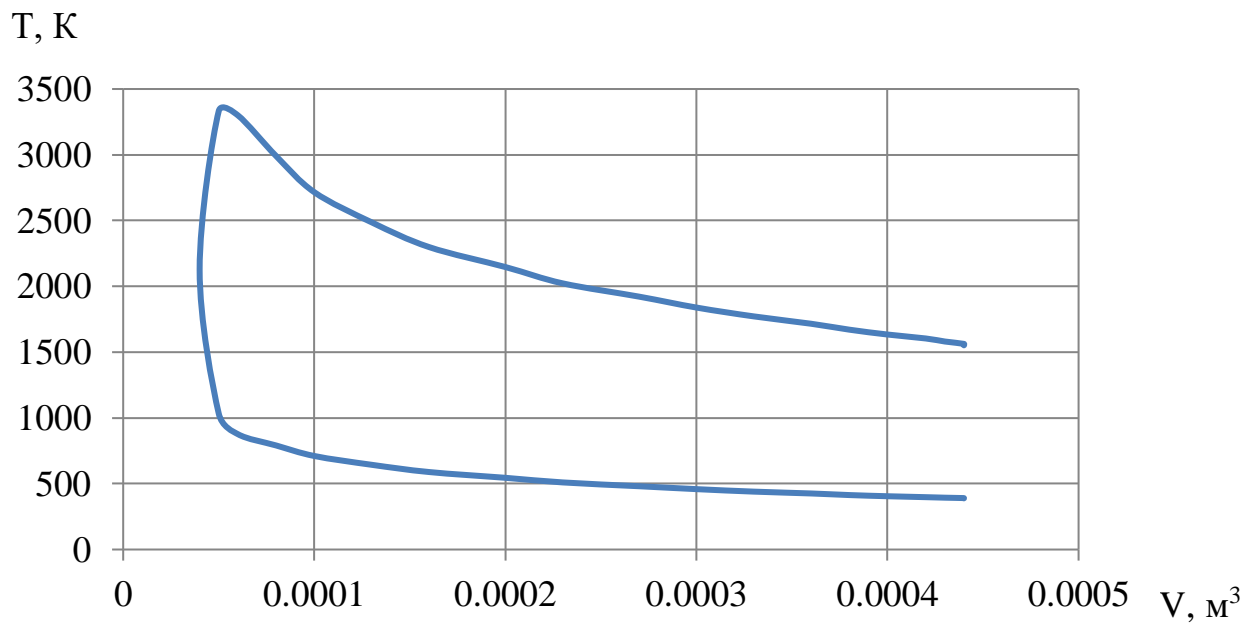


Рисунок 3.2 – Індикаторна діаграма  $T(V)$  номінального режиму двигуна Peugeot XU9J1

### 3.4 Висновки за розділом

Виконано термодинамічний розрахунок циклу двигуна Peugeot XU9J1 на номінальному режимі роботи. Результати розрахунків представлено у вигляді індикаторних діаграм (рисунки 3.1, 3.2), та протоколу теплового розрахунку (таблиця 3.2). Розрахункова похибка (за ефективною потужністю двигуна) не перевищує 3,7 %.

З рисунків 3.1 і 3.2 визначаємо максимальні значення тиску та температури за цикл:  $p_{\max} = 7,031$  МПа,  $T_{\max} = 2996,2$  К.

Отримано ряд величин та параметрів, необхідних для подальшого розрахунку непрогрітого двигуна на режимі холостого ходу (див. розділ 5).

## 4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЧАСУ ХОЛОДНОГО ЗАПУСКУ ДВИГУНА

Добові та сезонні коливання температури мають значний вплив на робочі процеси, що відбуваються в двигунах внутрішнього згорання. Особливо це проявляється при запуску двигуна в зимовий період. Головні причини ускладненого запуску:

- збільшення в'язкості моторної оливи збільшує гальмівний момент при прокручуванні колінчастого валу;
- збільшення зазорів між деталями циліндропоршневої групи зменшує компресію в циліндрах двигуна;
- погіршене сумішоутворення призводить до неповного згорання палива;
- зменшення ємності акумуляторних батарей (АКБ) призводить до зменшення частоти обертання електростартера та збільшення часу, потрібного для запуску двигуна.

На відміну від перших трьох факторів, останній проблемі в науковій літературі присвячено мало уваги [9].

Головними негативними ефектами збільшеного часу запуску двигуна є:

- зростання викидів шкідливих речовин;
- зростання витрати палива;
- при невдалому запуску – подальше зменшення заряду АКБ.

З метою дослідження впливу стану АКБ в зимовий період на час запуску двигуна проведено ряд експериментів на легковому автомобілі Peugeot 405 з бензиновим двигуном DFZ (XU9J1) об'ємом  $V_h = 1,9$  л ефективною потужністю  $N_e = 77$  кВт.

При проведенні експериментів використовувались повністю заряджені АКБ. Справність використаних АКБ перевірено за допомогою

навантажувальної вилки. Величина напруги під час експериментів вимірювалась мультиметром SIGMA 4008551 (див. рисунок 4.1).



Рисунок 4.1 – Вимірювання напруги АКБ при холодному запуску двигуна під час досліду

В ході експериментів на автомобіль було встановлено повністю заряджену АКБ, температура АКБ рівна температурі повітря навколишнього середовища. Далі проведено запуск двигуна, і двигун працював протягом 2...5 хв. Після вдалого запуску двигуна наступний експеримент проводився не раніше, ніж через 1 годину після запуску. Перед початком наступного експерименту величина напруги АКБ контролювано знижувалась шляхом включення споживачів електричної енергії автомобіля (включення фар, магнітоли, електропідігріву тощо) [9].

Під час експериментів фіксувались наступні величини:

– напруга АКБ перед запуском, В;

- напруга АКБ під час прокручування електростартера, В;
- напруга АКБ після запуску, В;
- час запуску, с.

Температура повітря навколишнього середовища при проведенні експериментів складала від  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Залежність часу запуску двигуна від напруги акумуляторної батареї показано на рисунку 4.2 у вигляді апроксимаційних кривих [9].

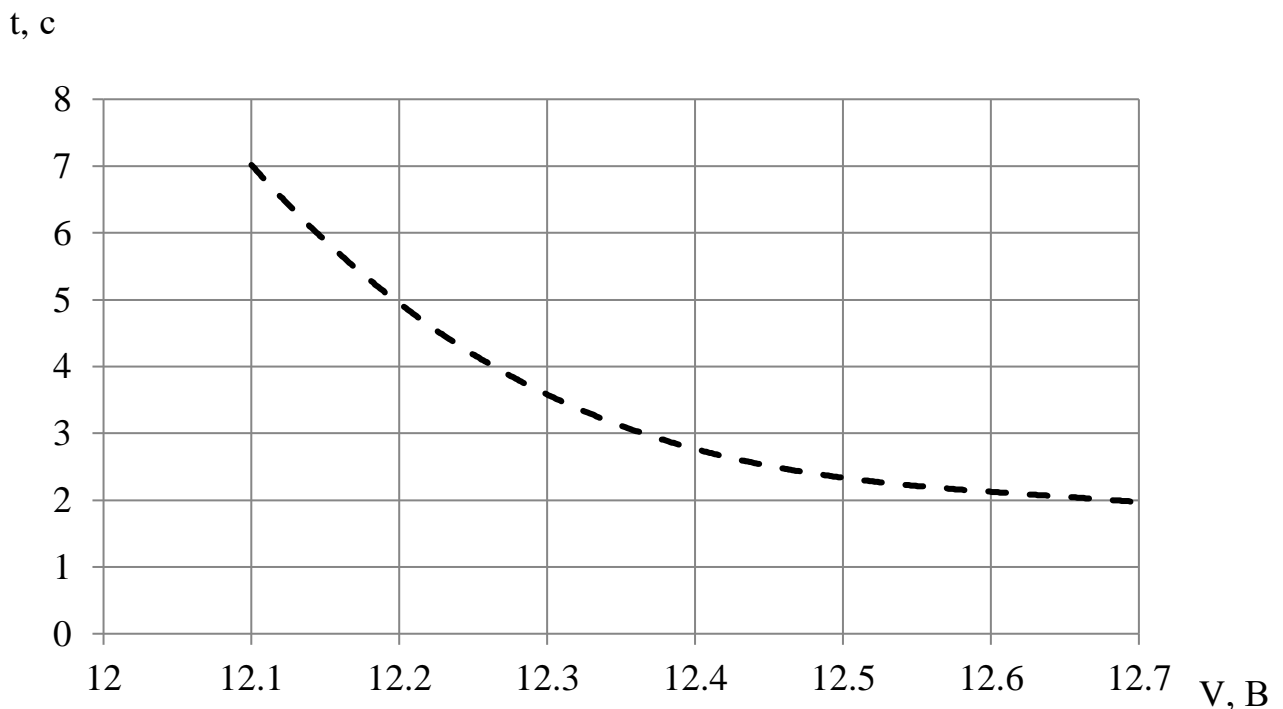


Рисунок 4.2 – Залежність часу запуску двигуна від напруги акумуляторної батареї

**Висновки за розділом.** У розділі наведено результати експериментальних досліджень часу запуску двигуна при холодному запуску в залежності від ступеня заряду акумуляторної батареї та від температури навколишнього середовища.

За результатами проведених експериментів можна зробити висновок, що при зниженні заряду АКБ бензинового ДВЗ очікувано зменшується частота

обертання електростартера двигуна, а час запуску двигуна збільшується. Для двигуна Peugeot XU9J1 максимальний час запуску склав 7 с.

Оскільки взимку АКБ розряджається швидше, ніж в теплий період, проведений експеримент підтверджує актуальність питання визначення впливу стану АКБ на економічні та екологічні показники ДВЗ при експлуатації в зимовий період.

## 5 ТЕПЛОВИЙ РОЗРАХУНОК НЕПРОГРІТОГО ДВИГУНА НА РЕЖИМІ ХОЛОСТОГО ХОДУ

У розділі проведений тепловий розрахунок двигуна Peugeot XU9J1 на режимі холостого ходу у програмі Engine Calculation, на основі методики, використаної у розділі 3. Проведено розрахунок витрати палива при запуску двигуна у відтворених умовах досліду (див. розділ 4), та визначено витрати палива при використанні автомобіля в зимові місяці.

Конструкція двигуна Peugeot XU9J1 дозволяє ручне налаштування обертів холостого ходу (спеціальним гвинтом, який регулює переріз каналу холостого ходу), тому приймаємо, що двигун після запуску може працювати при обертах  $n = 750 \text{ хв}^{-1}$ ;  $n = 1000 \text{ хв}^{-1}$ ;  $n = 1250 \text{ хв}^{-1}$ .

### 5.1 Розрахункова частина

Розрахункова різниця між номінальним режимом роботи та режимом холостого ходу складається у зміні окремих параметрах, а саме:

- частота обертання валу  $n = 750 \text{ хв}^{-1}$ ;  $n = 1000 \text{ хв}^{-1}$ ;  $n = 1250 \text{ хв}^{-1}$ ;
- через збагачення паливоповітряної суміші на холостому ході коефіцієнт надлишку повітря  $\alpha = 0,85$ ;
- середня температура стінок (для непрогрітого двигуна)  $T_w = 293 \text{ К}$ ;
- кут випередження запалювання зменшується, тому кут початку згорання  $\varphi_c = 350^\circ \text{ ПКВ}$ .

Враховуючи ці дані, складаємо нову таблицю для розрахунку термодинамічного циклу на холостому ході за допомогою програми Engine Calculation (див. табл. 5.1).

Таблиця 5.1 – Початкові дані для розрахунку робочого циклу двигуна Peugeot XU9J1 на режимі холостого ходу до програми Engine Calculation

Найменування величини	Численні величини				Позначення та одиниці виміру
	Номинальний режим	Дослідницький режим			
		n = 750 хв <sup>-1</sup>	n = 1000	n = 1250	
<b>Код двигуна</b>	2	2	2	2	У
<b>Вид розрахунку</b>	1	2	2	2	-
<b>Тип двигуна</b>					
1. Теплота згорання палива	44	44	44	44	H <sub>ут</sub> , МДж/кг m <sub>i</sub>
2. Показник процесу згорання	3,2	3,2	3,2	3,2	
<b>Конструктивні дані</b>					
3. Кількість циліндрів	4	4	4	4	i
4. Рядний(1), V-подібний(0)	1	1	1	1	-
5. Діаметр циліндра	0,081	0,081	0,081	0,081	D, м
6. Площа поршня	5,15239	5,15239	5,15239	5,15239	F <sub>п</sub> ·10 <sup>3</sup> , м <sup>2</sup>
7. Радіус кривошипа	0,0385	0,0385	0,0385	0,0385	r <sub>к</sub> , м
8. Відношення λ <sub>к</sub> = r <sub>к</sub> /L <sub>ш</sub>	0,25	0,25	0,25	0,25	λ <sub>к</sub>
9. Площа теплообміну поршня	5,15239	5,15239	5,15239	5,15239	F <sub>п</sub> '·10 <sup>3</sup> , м <sup>2</sup>
10. Площа теплообміну кришки	5,66729	5,66729	5,66729	5,66729	F <sub>к</sub> ·10 <sup>3</sup> , м <sup>2</sup>
11. Об'єм камери стиснення	44,064	44,064	44,064	44,064	V <sub>с</sub> ·10 <sup>6</sup> , м <sup>3</sup>
<b>Надув</b>					
12. Тиск наддуву	0,102	0,102	0,102	0,102	p <sub>к</sub> , МПа
13. Температура наддувочного повітря	298	298	298	298	T <sub>к</sub> , К
<b>Регульовальні дані</b>					
14. Кут початку згорання	340	350	350	350	φ <sub>с</sub> , град
15. Кут кінця згорання	380	390	390	390	φ <sub>z</sub> , град
<b>Режимні дані</b>					
16. Кутова швидкість валу	728,48	78,5	104,7	130,8	ω, рад/с
17. Коефіцієнт надлишку повітря	0,91	0,85	0,85	0,85	α
18. Циклова подача палива	22,87595	24,4960	24,4888	24,4495	Δm <sub>тп</sub> ·10 <sup>6</sup> , кг/цикл
19. Середня темпер-ра стінок	550	293	293	293	T <sub>w</sub> , К
<b>Початкові умови</b>					
20. Тиск	86,7	86,7	86,7	86,7	p <sub>а</sub> , кПа
21. Температура	389,1	389,1	389,1	389,1	T <sub>а</sub> , К
22. Маса робочого тіла	0,34262	0,34254	0,34199	0,34152	m <sub>а</sub> , г/цикл
23. Об'єм робочої порожнини	4,40644	4,40644	4,40644	4,40644	V <sub>а</sub> ·10 <sup>4</sup> , м <sup>3</sup>
<b>Дані до динамічного розрахунку</b>					
24. Маса поступально рухаючих частин	0,669	0,669	0,669	0,669	m <sub>а</sub> , кг
<b>Розрахунковий крок</b>	1	1	1	1	Δφ, град.

## 5.2 Результати розрахунку

Після розрахунку циклу двигуна Peugeot XU9J1 в програмі Engine Calculation отримано результати. В таблиці 5.2 наведено значення тиску  $P$ , температури  $T$ , маси робочого тіла  $m$  та поточного об'єму циліндра  $V$  від кута повороту колінчастого валу  $\varphi$ .

Таблиця 5.2 – Протокол теплового розрахунку двигуна Peugeot XU9J1 (режим  $n = 750 \text{ хв}^{-1}$ )

$\varphi$ , °П.К.В.	$P$ , Па	$T$ , К	$m$ , кг	$V$ , м <sup>3</sup>
0	86700	392,9	0,000337	0,00004
30	86700	392,9	0,000337	0,00008
60	86700	392,9	0,000337	0,00016
90	86700	392,9	0,000337	0,00027
120	86700	392,9	0,000337	0,00036
150	86700	392,9	0,000337	0,00042
180	83476,6	392,9	0,000337	0,00044
210	89347,7	401,1	0,000337	0,00042
240	110704	425,8	0,000337	0,00036
270	166410,3	474,9	0,000337	0,00027
300	327234,8	565,5	0,000337	0,00016
330	878418,5	720,8	0,000337	0,00008
360	1896265	890,7	0,000337	0,00004
390	4135596,5	2412,4	0,000361	0,00008
420	875495	1410,6	0,000361	0,00016
450	394947,3	1050,7	0,000361	0,00027
480	242481,6	869,5	0,000361	0,00036
510	183918	769,7	0,000361	0,00042
540	162018	715	0,000361	0,00044
570	133782,5	715	0,000361	0,00042
600	115900	715	0,000361	0,00036
630	115900	715	0,000361	0,00027
660	115900	715	0,000361	0,00016
690	115900	715	0,000361	0,00008
720	115900	715	0,000361	0,00004

На рисунках 5.1, 5.2 показано індикаторні діаграми двигуна на холостому ході у порівнянні з індикаторною діаграмою на номінальному режимі.

$P$ , МПа

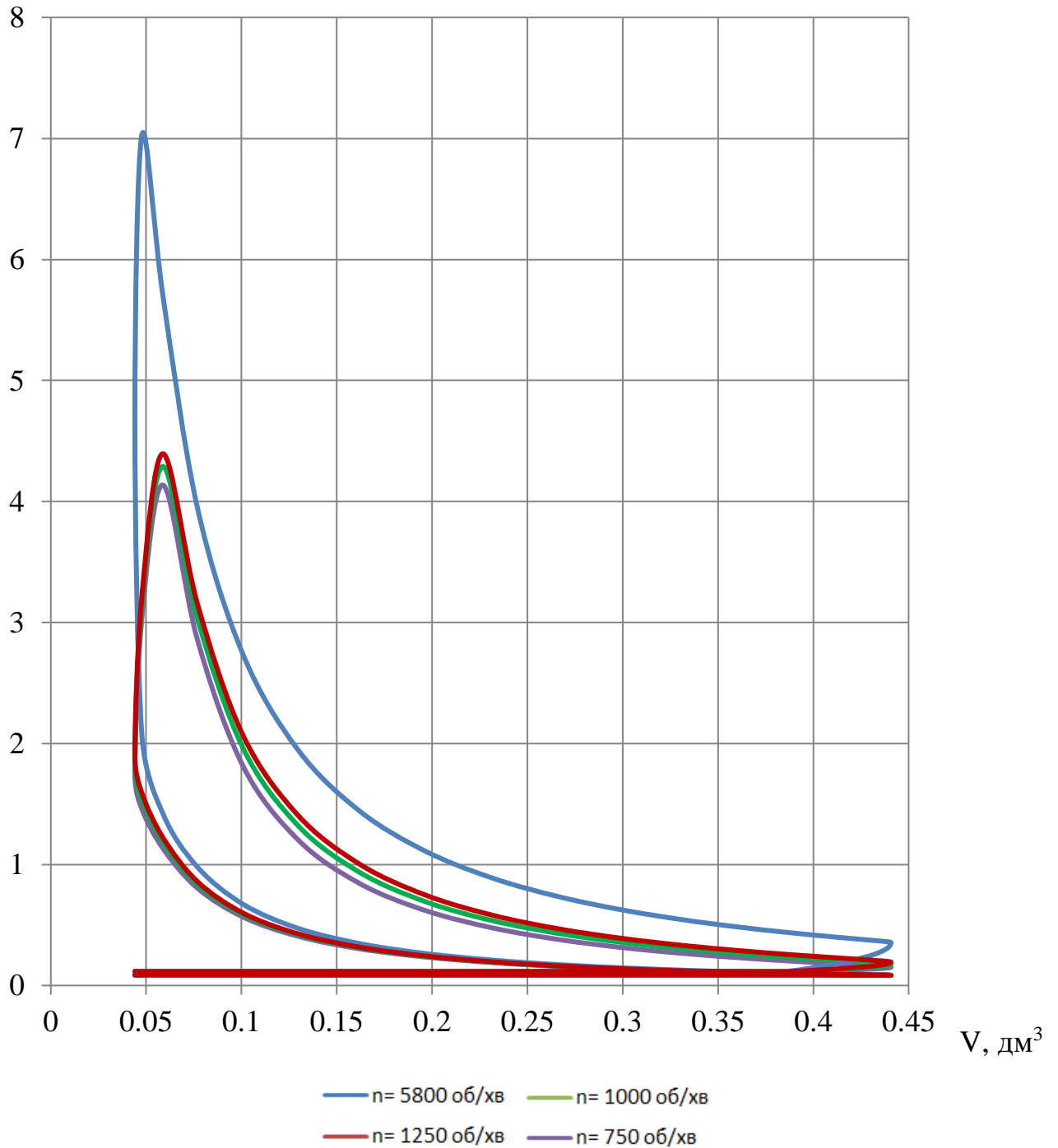


Рисунок 5.1 – Індикаторна діаграма  $P(V)$  двигуна Peugeot XU9J1 на холостому ході і на номінальному режимі

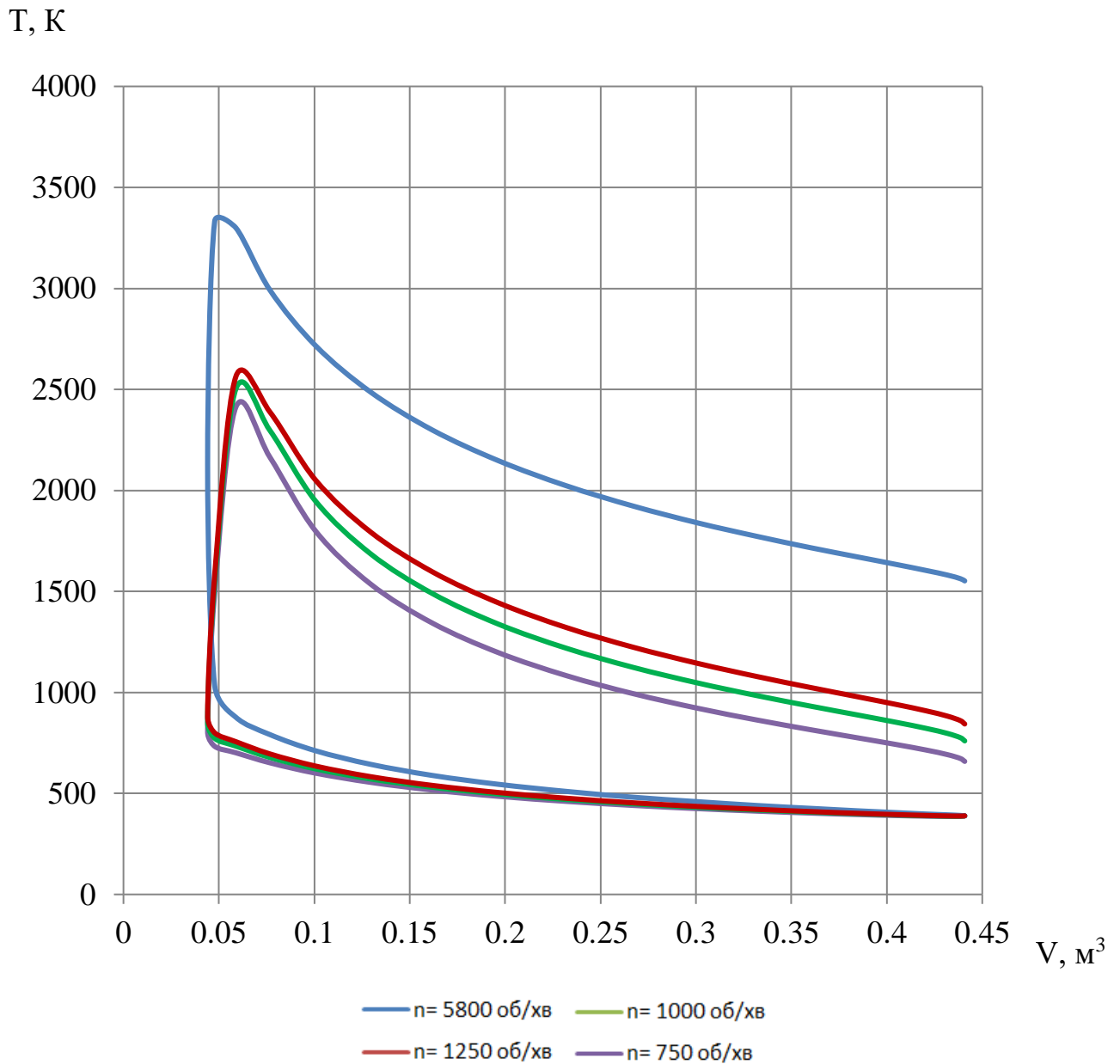


Рисунок 5.2 – Індикаторна діаграма  $T(V)$  двигуна Peugeot XU9J1 на холостому ході і на номінальному режимі

З рисунків 5.1 і 5.2 визначаємо максимальні значення тиску та температури за цикл:

- при  $n = 750 \text{ хв}^{-1}$   $p_{\max} = 4,1355 \text{ МПа}$ ,  $T_{\max} = 2412,4 \text{ К}$ ;
- при  $n = 1000 \text{ хв}^{-1}$   $p_{\max} = 4,2895 \text{ МПа}$ ,  $T_{\max} = 2502,2 \text{ К}$ ;
- при  $n = 1250 \text{ хв}^{-1}$   $p_{\max} = 4,3942 \text{ МПа}$ ,  $T_{\max} = 2563,2 \text{ К}$ .

У порівнянні з роботою на номінальним режимом ( $p_{\max} = 7,031 \text{ МПа}$ ,  $T_{\max} = 2996,2 \text{ К}$ ), зниження максимальної величини тиску та температури за

цикл складає 2,64...2,9 МПа (37,5...41,2 %) та 433...583,8 К (14,5...19,5 %) відповідно.

### 5.3 Розрахунок витрати палива на різних швидкісних режимах

Знаючи циклову подачу палива ( $\Delta m_{\text{ци}}$ ) та повітря ( $\Delta m_{\text{вц}}$ ) на холостому ході, можна порахувати витрату палива за 1 с – величина  $\Delta m_{\text{т}}$ . Оскільки двигун 4-тактний, і в ньому відбувається 1 робочий цикл за 2 повні оберти колінчастого валу, тоді

$$\Delta m_{\text{т}} = \Delta m_{\text{ци}} \cdot n / (60 \cdot 2), \text{ кг/с.} \quad (5.1)$$

При  $n = 750 \text{ хв}^{-1}$ ,  $n = 1000 \text{ хв}^{-1}$ ,  $n = 1250 \text{ хв}^{-1}$ ,  $n = 5800 \text{ хв}^{-1}$ , відповідно:

$$\Delta m_{\text{т}} = 0,0244960 \cdot 750 / (60 \cdot 2) = 0,1531 \text{ г/с.}$$

$$\Delta m_{\text{т}} = 0,0244888 \cdot 1000 / (60 \cdot 2) = 0,2040 \text{ г/с.}$$

$$\Delta m_{\text{т}} = 0,0244495 \cdot 1250 / (60 \cdot 2) = 0,2546 \text{ г/с.}$$

$$\Delta m_{\text{т}} = 0,0228795 \cdot 5800 / (60 \cdot 2) = 1,1058 \text{ г/с.}$$

Значення  $\Delta m_{\text{т}}$  для всіх обертів двигуна заносимо до таблиці 5.3.

З експериментів знаємо скільки часу потрібно для запуску двигуна. За допомогою цієї інформації прораховуємо скільки буде витрачено палива в пусту. Для цього розрахунку використовуємо мінімальний, середній та максимальний зафіксований час запуску двигуна. Результати також заносимо до таблиці 5.3 як  $\Delta m_{\text{тмін}}$ ,  $\Delta m_{\text{тср}}$ ,  $\Delta m_{\text{тмакс}}$ .

Таблиця 5.3 – Витрата палива двигуна Peugeot XU9J1 на різних режимах

n, хв <sup>-1</sup>	750	1000	1250	5800
$\Delta m_{\text{вц}}, \text{ г/цикл}$	0,311491	0,311400	0,310900	0,310473
$\Delta m_{\text{тц}}, \text{ г/цикл}$	0,0244960	0,0244888	0,0244495	0,0228795
$\Delta m_{\text{т}}, \text{ г/с}$	0,1531	0,2040	0,2546	1,1058
$\Delta m_{\text{тмін}}, \text{ Г}$	0,3062	0,4080	0,5092	2,2116
$\Delta m_{\text{тср}}, \text{ Г}$	0,4593	0,6120	0,7638	3,3174
$\Delta m_{\text{тмакс}}, \text{ Г}$	0,7655	1,0200	1,2730	5,5290

Використаємо найбільші показники обертів холостого ходу  $n$  та відповідні йому витрату палива за максимальний зазначений час  $\Delta m_{\text{тмакс}}$  щоб порахувати місячну витрату палива, яке не використовується і виходить з двигуна через вихлопну трубу, що є як економічною витратою, так чинником екологічного забруднення навколишнього середовища (вуглеводні  $C_nH_m$ ). Розглядатиметься умовна ситуація, коли людині потрібно використовувати автомобіль двічі на день, щоб потрапити на роботу зранку та додому ввечері.

$$m_{\text{міс}} \approx \Delta m_{\text{тмакс}} \cdot f, \text{ Г}$$

$$m_{\text{міс}} = 0,7655 \cdot 44 = 33,68 \text{ Г}$$

$$m_{\text{міс}} = 1,0200 \cdot 44 = 44,88 \text{ Г}$$

$$m_{\text{міс}} = 1,2730 \cdot 44 = 56,01 \text{ Г}$$

де  $f$  – кількість запусків двигуна за місяць при умові використання автомобіля 2 рази на день в період 22 робочих днів.

Хоч витрата палива, яка не задіяна в запуску двигуна, через погані умови запуску, була порахована, це лише приблизне число оскільки погодні умови непередбачуваними. В певні дні може бути тепліше, або холодніше. В розрахунку використовувались данні отримані практичним методом через експеримент, але слід мати на увазі що в певний час експлуатації у зимній

період температура може знизитись ще сильніше, що як видно, з досліду може збільшити час запуску двигуна і відповідно пусту витрату палива.

#### 5.4 Висновки за розділом

У розділі наведено результати теплового розрахунку двигуна Peugeot XU9J1 на частотах обертання валу, характерних для режиму холостого ходу ( $n = 750 \text{ хв}^{-1}$ ;  $n = 1000 \text{ хв}^{-1}$  або  $n = 1250 \text{ хв}^{-1}$ ), у програмі Engine Calculation. Розрахована секундна витрата палива  $\Delta m_r = 0,1531 \dots 0,2546 \text{ г/с}$ . Розрахована витрата палива при разовому запуску двигуна згідно до відтворених умов проведеного досліду (див. розділ 4)  $\Delta m_r = 0,3062 \dots 1,273 \text{ г}$ .

Розрахована величину неефективної витрати палива при прокручуванні стартера в холодний місяць. Залежно від налаштувань холостого ходу,  $m_{\text{міс}} = 33,68 \dots 56,01 \text{ г}$ .

## 6 РОЗРАХУНОК ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ СТІНКИ АКУМУЛЯТОРНОЇ БАТАРЕЇ

У розділі розраховано теплопровідність стінки акумуляторної батареї у двох випадках: віддача тепла у зимню пору та нагрівання влітку. Розрахунки виконано для різних значень температури, а також для різних товщин стінки акумуляторної батареї.

### 6.1 Розрахунок теплопровідності стінки у зимову пору року

Найбільш розповсюдженим матеріалом для виготовлення стінок коробки АКБ є пластмаси: поліетелен або поліпропілен. Більш старі корпуса акумулятора виробляли з ебоніту. Використання того чи іншого матеріалу більш відноситься до бюджету виробника, але ми будемо використовувати у розрахунках поліпропілен.

Товщина стінки  $\delta_{ст} = 6$  мм обтікає з одного боку холодним повітрям з температурою  $t_{н} = -3$  °С, а з другої – електролітом з температурою  $t_{в} = -5$  °С. Оскільки при запуску двигуна повітря у підкапотному просторі починає нагріватися, то зовнішня температура трохи збільшується у порівнянні з температурою електроліту.

Коефіцієнт теплопередачі від навколишнього середовища до стінки  $\alpha_{\Sigma 1} = 32$  Вт/(м<sup>2</sup>·К) та від стінки до електроліту  $\alpha_{\Sigma 2} = 3200$  Вт/(м<sup>2</sup>·К) коефіцієнт теплопровідності стінки  $\lambda_{ст} = 0,2$  Вт/(м·К)

Нам відома температура з зовнішньої сторони стінки та внутрішньої, а отже ми можемо порахувати коефіцієнт теплопередачі при відсутності шару накипу/бруду [12]

$$\alpha = \left( \frac{l}{\alpha_{\Sigma 1}} + \frac{\delta_{cm}}{\alpha_{cm}} + \frac{l}{\alpha_{\Sigma 2}} \right)^{-1} \quad (6.1)$$

$$\alpha = \left( \frac{1}{32} + \frac{6}{0,2} + \frac{1}{3200} \right)^{-1} = 0,03329 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

та густину теплового потоку

$$q = \alpha \cdot (\theta_n - \theta_v) \quad (6.2)$$

$$q = 0,03329 \cdot (-3 - (-4)) = 0,03329 \text{ Вт}/\text{м}^2$$

Використовуючи формули 6.1 та 6.2, виконуємо розрахунок і для більш холодних погодних умов через те, що вони кожного року не є стабільними. Результати розрахунку занесемо до таблиці 6.1. Через те, що для розрахунку, до цієї таблиці використовується однакове значення товщини стінки  $\delta_{ст}$ , то коефіцієнт теплопередачі буде однаковим при різних температурах, тому його графічно зображати не будемо, оскільки зміниться тільки густина теплового потоку  $q$  (рис. 6.1).

Також повторимо розрахунок зі стабільною температурою, але різними товщинами стінки, результати розрахунку занесемо до таблиці 6.2 та відобразимо графічно (рис. 6.2, 6.3).

З рисунків 6.1 - 6.3 впливає наступне: зі збільшенням температури навколишнього середовища збільшується густина теплового потоку, однак він зменшується при підвищенні товщини стінки, також зменшується і коефіцієнт теплопередачі  $k$ .

Таблиця 6.1 – Залежність теплопередачі через стінку від температури навколишнього середовища взимку.

Розрахунок	1	2	3	4
Товщина стінки $\delta_{ст}$ , мм	6	6	6	6
Температура зовнішня $t_n$ , °C	-3	-4	-6	-9
Температура внутрішня $t_b$ , °C	-4	-6	-9	-13
Коефіцієнт теплопередачі $k$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	0,03329	0,03329	0,03329	0,03329
Густина теплового потоку $q$ , Вт/м <sup>2</sup>	0,03329	0,06658	0,09987	0,13316

Таблиця 6.2 – Залежність теплопередачі через стінку від товщини стінки взимку.

Розрахунок	1	2	3	4
Товщина стінки $\delta_{ст}$ , мм	6	9	12	15
Температура зовнішня $t_n$ , °C	-4	-4	-4	-4
Температура внутрішня $t_b$ , °C	-6	-6	-6	-6
Коефіцієнт теплопередачі $k$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	0,03329	0,02220	0,01665	0,01332
Густина теплового потоку $q$ , Вт/м <sup>2</sup>	0,06658	0,04440	0,03330	0,02664

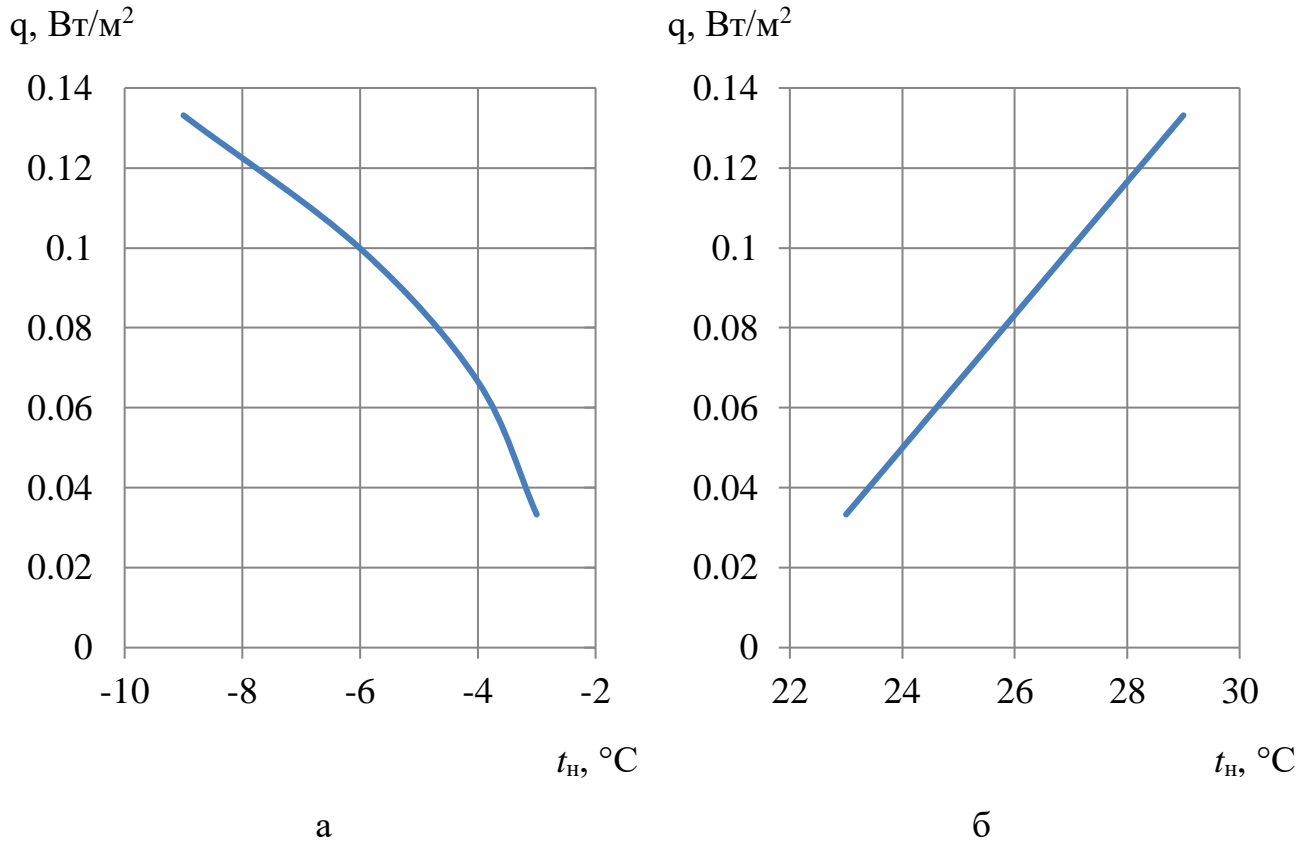


Рисунок 6.1 – Вплив температури навколишнього середовища на густину теплового потоку в холодну (а) та теплу (б) пори року

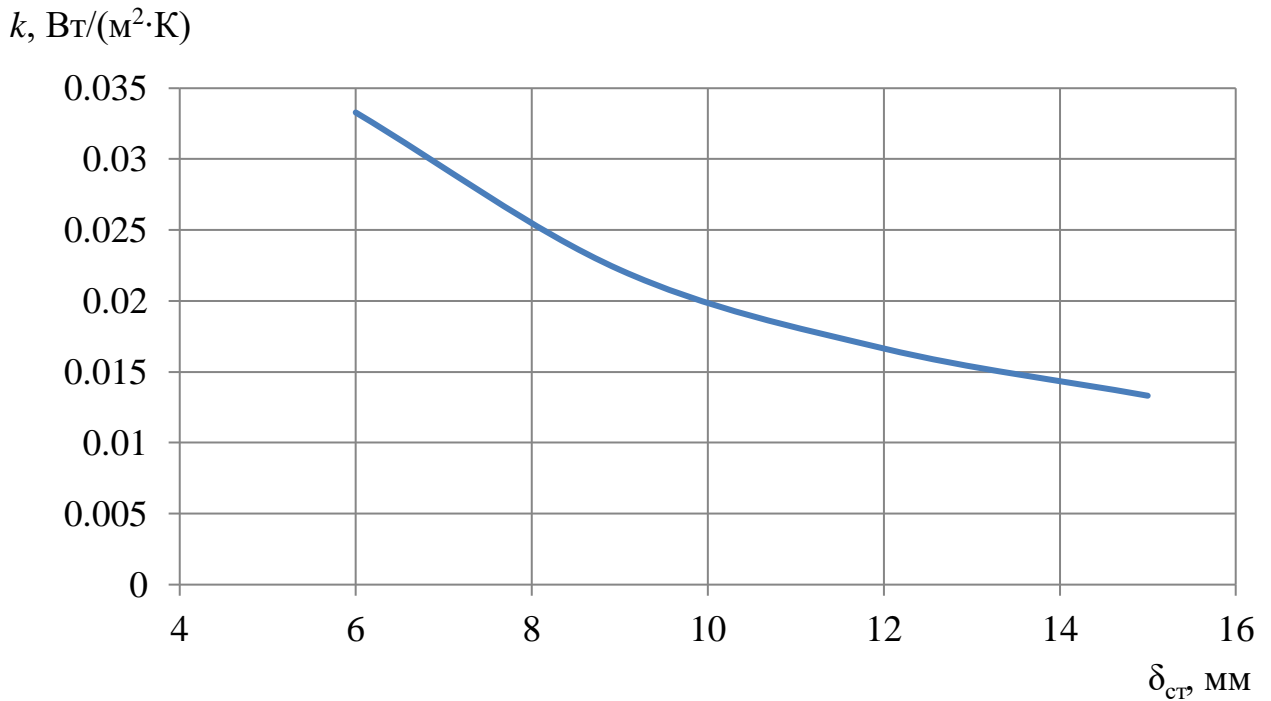


Рисунок 6.2 – Вплив товщини стінки на коефіцієнт теплопередачі і в холодну, і в теплу пори року

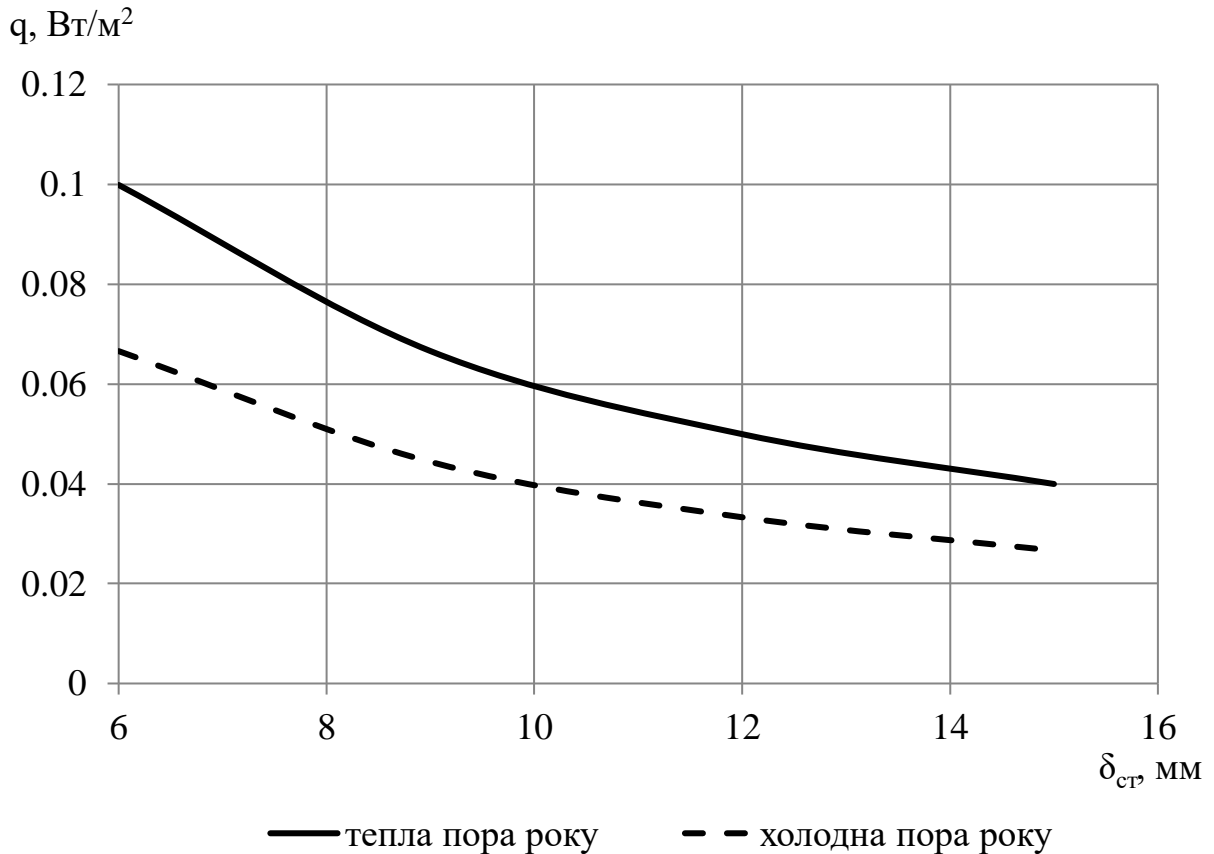


Рисунок 6.3 – Вплив товщини стінки на густину теплового потоку в теплу та холодну пори року

Якщо акумулятор в процесі експлуатації буде знаходитися на критично низьких температурах і не зможе нагрітися від тепла двигуна (що напряму залежить від коефіцієнту теплопередачі  $k$  та густини теплового потоку  $q$ ) це може привести до перебоїв в роботі двигуна (двигун буде «троїти») через зменшення потужності іскрового заряду на свічці запалювання. Однак, перебої із запалюванням не означають, що подача палива припиниться. Паливоповітряна суміш буде подаватися до камери згорання, без іскри вона не буде згоряти. Рухом поршня та клапанів суміш буде виштовхуватися з циліндру та вилітати, в кінці кінців, через вихлопну трубу у навколишнє середовище.

АКБ в процесі експлуатації також може виділяти теплоту. Враховуючи це, та результати розрахунків з таблиці 6.2, можна зробити припущення, що термоізоляція може стабілізувати температуру акумуляторної батареї, що, в свою чергу, дозволить вирішити проблему холодного запуску в зимню пору

року. Це обґрунтовується тим, що при відсутності сильних температур нижче  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  АКБ зможе самостійно підтримувати працездатну температуру, оскільки нагрівання всередині акумулятора не настільки сильне, щоб довести його до кипіння.

## 6.2 Розрахунок теплопровідності стінки в літню пору року

Великі температури також можуть негативно вплинути на АКБ. Перегрівання внаслідок високої температури навколишнього середовища, та виділення теплоти при заряді генератором двигуна, призводить до утворення накипу на клеммах, що в свою чергу знижує провідність напруги. Якщо перегрів буде суттєвим, є велика ймовірність пошкодження корпусу АКБ. Через утворені тріщини порушується герметичність та починається витікання електроліту, що може призвести до його потрапляння в інші системи.

У деяких крайніх випадках корпус може не пошкодитись, лише роздутись, через що його експлуатація та будь яка взаємодія стає небезпечною для людини.

Використовуючи формули (6.1) та (6.2), виконуємо розрахунок і для інших екстремальних – спекотних літніх погодних умов. Результати розрахунку занесемо до таблиці 6.3. Через те, що для розрахунку в цій таблиці використовується однакове значення товщини стінки  $\delta_{ст}$ , то коефіцієнт теплопередачі буде однаковим при різних температурах (див. рисунок 6.2), оскільки зміниться тільки густина теплового потоку  $q$  (рис. 6.1).

Також повторюємо розрахунок зі стабільною температурою, але різною товщиною стінки, результати розрахунку занесемо до таблиці 6.4 та також відобразимо графічно (рис. 6.3).

Таблиця 6.3 – Залежність теплопередачі через стінку від температури навколишнього середовища в літку.

Розрахунок	1	2	3	4
Товщина стінки $\delta_{ст}$ , мм	6	6	6	6
Температура зовнішня $t_n$ , °C	23	25	27	29
Температура внутрішня $t_b$ , °C	21	23	25	27
Коефіцієнт теплопередачі $k$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	0,03329	0,03329	0,03329	0,03329
Густина теплового потоку $q$ , Вт/м <sup>2</sup>	0,03329	0,06658	0,09987	0,13316

Таблиця 6.4 – Залежність теплопередачі через стінку від товщини стінки в літку.

Розрахунок	1	2	3	4
Товщина стінки $\delta_{ст}$ , мм	6	9	12	15
Температура зовнішня $t_n$ , °C	28	28	28	28
Температура внутрішня $t_b$ , °C	25	25	25	25
Коефіцієнт теплопередачі $k$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	0,03329	0,02220	0,01665	0,01332
Густина теплового потоку $q$ , Вт/м <sup>2</sup>	0,09987	0,06660	0,04995	0,03996

З рисунків 6.1,б і 6.3 випливає, що навіть при зміні знаку температури, її вплив як при додатному значенні, так і при від'ємному, впливає на густину потоку однаково.

Якщо у розділі 6.1.1 зменшення густини теплового потоку не було сприятливим через нездатність АКБ працювати при низькій температурі, то в цьому випадку це добре, оскільки зменшується вірогідність перегріву, негативні наслідки якого були описані раніше. Також це підтверджує, як і у попередньому розділі 6.1.1, необхідність термоізоляції для подальшої стабільної роботи АКБ.

### 6.3 Теплоізоляція автомобільної акумуляторної батареї

Деякі компанії автомобільного ринку вже мають розробки щодо теплоізоляції автомобільної акумуляторної батареї. Так, компанія Ford випускає термопокривала та термокейси, а народні умільці також знайшли свій спосіб утеплити АКБ з підручних матеріалів (див. рис. 6.7).



Рисунок 6.7 – Саморобний термокейс для АКБ

Саморобні термокейси роблять з пінофолу, теплофолу, ізолону, поліфому, енергофлексу, велотерму. Однак такі варіанти не є придатними для використання влітку. Нездатність забезпечити теплоізоляцію влітку за допомогою теплокейсу спостерігається і у промислових зразків термокейсів. Через це постає питання про можливості створення АКБ зі спеціальних матеріалів стінки, однак це питання потребує додаткових наукових досліджень в спеціалізованих лабораторіях.

#### 6.4 Висновки за розділом

Встановлено, що зі збільшенням температури навколишнього середовища збільшується густина теплового потоку  $q$  в теплу та холодні пори року напрям потоку різний (див. рис. 6.1).

При підвищенні товщини стінки густина теплового потоку  $q$  зменшується (з  $0,067 \dots 0,1$  Вт/м<sup>2</sup> до  $0,027 \dots 0,04$  Вт/м<sup>2</sup>), також зменшується і коефіцієнт теплопередачі  $k$  – з  $0,33$  Вт/(м<sup>2</sup>·К) до  $0,013$  Вт/(м<sup>2</sup>·К).

Якщо акумулятор в процесі експлуатації буде знаходитися в критично низьких температурах і не зможе нагрітися від тепла двигуна (що прямо залежить від коефіцієнту теплопередачі та густини теплового потоку), це може привести до перебоїв в роботі двигуна через брак потужності іскрового розряду на свічці запалювання. Паливоповітряна суміш буде потрапляти до атмосфери неспаленою.

АКБ в процесі експлуатації також може виділяти теплоту, враховуючи це, та результати розрахунків (див. табл. 6.2), можна зробити припущення що термоізоляція може стабілізувати температуру акумуляторної батареї, що в свою чергу, дозволить вирішити проблему холодного запуску в зимню пору року.

З рисунків 6.3 і 6.4 випливає, що і за низьких, і за високих температур, вона впливає на густину теплового потоку однаковим чином. **БОЛЬШЕ ЦИФР!**

Якщо у розділі 6.1.1 зменшення густини теплового потоку не було сприятливим через нездатність АКБ працювати при низькій температурі, то в цьому випадку це добре оскільки зменшується вірогідність перегріву, негативні наслідки якого були описані раніше. Також це підтверджує, як і у попередньому розділі 6.1.1 необхідність термоізоляції для подальшої стабільної роботи АКБ.

Враховуючи вище сказане, можна зробити висновок, що пониження теплопровідності є сприятливим лише влітку, для запобігання кипіння електроліту, а взимку навпаки її слід підвищити щоб краще підтримувати робочу температуру в АКБ, через нагрівання від тепла, що виділяє двигун.

Виходячи з цього, рекомендується стабілізація тепла в акумуляторній батареї. Це виконується термоізоляцією АКБ.

## ВИСНОВКИ

1) Розглянуто принципи систем запуску двигунів внутрішнього згорання, досліджено та проаналізовано особливості їх конструкції та умов роботи в різних умовах.

2) Розглянуто характеристики об'єкта дослідження, двигун Peugeot XU9J1, конструкцію його механізмів та систем, методику проведення експерименту із визначення умов запуску ДВЗ в зимовий період, методику теплового розрахунку двигуна, методику теплопровідності стінки акумуляторної батареї.

3) Виконано термодинамічний розрахунок циклу двигуна Peugeot XU9J1 на номінальному режимі роботи. Результати розрахунків представлено у вигляді індикаторних діаграм. Визначено максимальні значення тиску та температури за цикл:  $p_{\max} = 7,031$  МПа,  $T_{\max} = 2996,2$  К.

4) Експериментально встановлено часу запуск двигуна при холодному запуску в залежності від ступеня заряду акумуляторної батареї та температури навколишнього середовища. Для двигуна Peugeot XU9J1 максимальний час запуску склав 7 с. Також, підтверджено, що при зниженні заряду АКБ бензинового ДВЗ очікувано зменшується частота обертання електростартера двигуна, а час запуску двигуна збільшується.

5) Виконано тепловий розрахунок двигуна Peugeot XU9J1 на режимі холостого ходу у програмі Engine Calculation (на частотах обертання  $n = 750$  хв<sup>-1</sup>;  $n = 1000$  хв<sup>-1</sup>;  $n = 1250$  хв<sup>-1</sup>). Розрахована секундна витрата палива  $\Delta m_T = 0,1531 \dots 0,2546$  г/с. Розрахована витрата палива при разовому запуску двигуна згідно до відтворених умов проведеного дослідження  $\Delta m_T = 0,3062 \dots 1,273$  г.

Розрахована величину неефективної витрати палива при прокручуванні стартера в холодний місяць. Залежно від налаштувань холостого ходу,  $m_{\text{міс}} = 33,68 \dots 56,01$  г.

6) Проведено розрахунок теплопровідності стінки в залежності від її товщини та температури навколишнього середовища. Досліджено характер та величину впливу товщини стінки на густину теплового потоку і на коефіцієнт теплопередачі, вплив температури навколишнього середовища на густину теплового потоку, в холодну та теплу пори року.

7) За результатами проведених досліджень підтверджено, що умови роботи акумуляторної батареї дійсно можуть впливати на запуск двигуна. Основним параметром, який на це впливає, є внутрішня температура АКБ. Для запобігання зниження ефективності її роботи запропоновано термоізоляцію батареї. На даний час доступні лише тимчасові технічні рішення, які мають ефективність лише у холодну пору року. В теплу пору року проблема не є настільки гострою, як і взимку, але все ж присутня, і не є вирішеною.

8) Обґрунтовано необхідність в розробці нового матеріалу для виготовлення корпусу акумуляторної батареї з матеріалу з меншою тепловою провідністю та більшої товщини.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Методичні вказівки до курсового проекту з дисципліни «Теорія ДВЗ» для студентів спеціальності 7(8)05050304 «Двигуни внутрішнього згорання» всіх форм навчання [Текст] / Укл. Г. І. Слинько, Я. О. Єгоров. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2015. – 50 с.
2. Схема запуску бензинового двигуна [Електронний ресурс]. – Сайт «Все о двигателе». – 2020. – Режим доступу: <https://avtika.ru/shema-zapuska-benzinovogo-dvigatelya/>
3. **Rendle, S.** Peugeot 405 1988 to 1997 (E to P registration) Petrol : Haynes Service and Repair Manual [Текст] / Steve Rendle and A. K. Legg. – Haynes Publishing, 1996. – 302 p.
4. **Дьяченко, В. Г.** Теория двигателей внутреннего сгорания [Текст] : учебник / В. Г. Дьяченко. – Х. : ХНАДУ, 2009. – 500 с.
5. **Егоров, Я. А.** Физико-математическая модель рабочего цикла двигателя внутреннего сгорания автотракторного типа [Текст] : учеб. пособие / Я. А. Егоров. – К. : УМК ВО, 1991. – 56 с.
6. **Колчин, А. И.** Расчет автомобильных и тракторных двигателей [Текст] : учеб. пособие для вузов / А. И. Колчин, В. П. Демидов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. школа, 1980. – 400 с.
7. Двигатели внутреннего сгорания: Теория поршневых и комбинированных двигателей [Текст] : учебник для вузов / Д. Н. Вырубков, Н. А. Иващенко, В. И. Ивин и др.; Под ред. А. С. Орлина и М. Г. Круглова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1983. – 372 с.
8. Методичні вказівки до переддипломної практики, виконання та захисту кваліфікаційної роботи магістрів, що навчаються за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування», освітня програма «Двигуни внутрішнього

згорання» [Текст] / Укл.: Г. І. Слинько, В. І. Кубіч, Р. Ф. Сухонос. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2018. – 38 с.

9. **Сухонос, Р. Ф.** Вплив напруги акумуляторної батареї на швидкість запуску бензинового ДВЗ за низьких температур [Електронний ресурс] / Р. Ф. Сухонос, Ю. О. Мірошніченко // Тиждень науки-2022 : щоріч. наук.-практ. конф., 18-22 квітня 2022 р. : тези доп. / Редкол. : В.В. Наумик (відпов. ред.) Електрон. дані. – Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2022. – С. 146–148.

10. Peugeot 405. Сервисное обслуживание и эксплуатация [Електронний ресурс]. – Сайт «Автомануалы». – Режим доступу: [http://automn.ru/peugeot-405/autocategory-1792-10.m\\_id-1784.html](http://automn.ru/peugeot-405/autocategory-1792-10.m_id-1784.html)

11. Ремонт обслуживание эксплуатация автомобилей Пежо 405. Peugeot 405 (с 1988 по 1996 год выпуска) [Електронний ресурс]. – Сайт «autopropect.ru». – Режим доступу: <http://www.autopropect.ru/peugeot/405/3-dvigateli.html>

12. Методичні вказівки до індивідуальних розрахунково-графічних завдань з теплотехнічних дисциплін для студентів спеціальностей 133 “Галузеве машинобудування”, 136 “Металургія” денної та заочної форм навчання / Укл.: Н. Є. Рябошапка. – Запоріжжя, ЗНТУ, 2017. – 31 с.

13. **Рябошапка, Н. Є.** Перспективи використання 48-вольтової електричної системи в автомобілях з двигунами внутрішнього згорання [Текст] / Н. Є. Рябошапка, Р. Ф. Сухонос, І. В. Новосильцев // Автомобільний транспорт в аграрному секторі: проектування, дизайн та технологічна експлуатація : Міжнарод. наук.-практ. конф., 8 грудня 2020 р. : Матеріали. – Харків: ХНТУСГ. – 2020. – С. 42-44.

14. Як підготувати акумулятор авто до зими? [Електронний ресурс] – Сайт «DNIPRO M». – 2020. – Режим доступу: <https://dnipro-m.ua/ru/news/kak-podgotovit-akkumulyator-avto-k-zime/>

15. Как правильно использовать АКБ в зимний период [Електронний ресурс] – Сайт «610 км». – Режим доступу: <https://610km.com.ua/ru/blog/jak-pravylno-vykorystovuvaty-akb-v-zymovyy-period>

16. **Иовлев, Ю.** Аккумуляторные батареи [Электронный ресурс] / Ю. Иовлев. – Сайт «coollib.com» - Режим доступа: <https://coollib.com/b/299672/read>
17. **Bucchmann, I.** Batteries in a Portable World: A Handbook on Rechargeable Batteries for Non-Engineers [Текст] / Isidor Bucchmann. – Third Edition. – Cadex Electronics Inc., 2011. – 328 p.
18. **Широкун, И.** Зима, холода: как правильно запускать двигатель в мороз [Электронный ресурс] / И. Широкун. – Сайт «Автоцентр». – 2016. – Режим доступа: <https://www.autocentre.ua/news/sobytie/zima-kholoda-kak-pravilno-zapuskat-dvigatel-v-moroz-43488.html>
19. **Бешинський, А. В.** Підвищення ефективності зарядного пристрою свинцево-кислотних акумуляторів: кваліфікаційна робота бакалавра за спеціальністю "141 – електроенергетика, електротехніка та електромеханіка" / А. В. Бешинський. – Тернопіль : ТНТУ, 2022. – 61 с.
20. Інструкція з експлуатації автомобільних акумуляторних батарей [Електронний ресурс] – Сайт «АКБ Центр». – Режим доступа: <https://akbcenter.com.ua/-5>
21. Проверка пригодности аккумулятора и способы його підзарядки [Електронний ресурс] – Сайт «130.com.ua». – Режим доступа: <https://130.com.ua/uk/sposoby-zaraydki-akkumulyatora/>
22. **Ходасевич, А. В.** Устройства и приборы для проверки и контроля электрооборудования автомобилей. Выпуск 3: Информационный обзор для автолюбителей [Текст] : справочник / А. В. Ходасевич. – 2005 – 208 с.
23. **Луканин, В. Н.** Двигатели внутреннего сгорания. Теория рабочих процессов [Текст] : учебник / В. Н. Луканин. – М. : Высшая школа, 1985 – 383 с.
24. Методичні вказівки до виконання практичних занять з дисципліни "Енергозбереження, екологічність двигунів внутрішнього згорання та захист навколишнього середовища" [Текст] : для студ. спец. 7.090210 "Двигуни внутрішнього згорання" / Нац. техн. ун-т «Харк. політехн. ін-т» ; уклад. І. В. Парсаданов. – Х. : НТУ «ХПІ», 2010. – 40 с.