

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

Кафедра двигунів
внутрішнього згорання,
установок та технічної
експлуатації

«Допущений до захисту»
В.о. завідувача кафедри
Олексій ГОГОРЕНКО

« » 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
МОДЕРНІЗАЦІЯ КОНСТРУКЦІЇ ПАЛИВНОЇ АПАРАТУРИ
АВТОМОБІЛЬНОГО ДВИГУНА

Спеціальність 142 – Енергетичне машинобудування

Для здобуття другого (магістерського) рівня вищої освіти

Керівник роботи



Олександр МИТРОФАНОВ

Здобувач освіти



Артур МАКСИМЕНЮК

Миколаїв 2024

Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

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

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ДВЗ, У та ТЕ
Олексій ГОГОРЕНКО
«___» _____ 20__ року

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

Максименюк Артур Вікторович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Модернізація конструкції паливної апаратури автомобільного двигуна

2. Керівник роботи д.т.н., доцент 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 Потужність двигуна – 100 кВт; частота обертання колінчатого валу – 2400 хв⁻¹.

5. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Загальна конструкція та особливості роботи автомобільного двигуна. 2. Розрахунок робочого циклу для номінального режиму роботи дизеля. 3. Модернізація паливної апаратури автомобільного двигуна. 4. Економічне обґрунтування виконаної модернізації паливної системи. 5. Аналіз та розробка заходів охорони праці та навколишнього середовища при застосуванні двигуна.

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

1. Загальний вигляд вантажного автомобіля. 2. Поперечний розріз двигуна 4ЧН 11/12,5 3. Двоплунжерна робоча секція ПНВТ (лист 1) 4. Двоплунжерна робоча секція ПНВТ (лист 2). 5. ПНВТ із двома кулачковими валами.

7. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Економічний розділ</i>	<i>Митрофанов О. С.</i>		
<i>Розділ хорони праці</i>	<i>Митрофанов О. С.</i>		

8. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	<i>Загальна конструкція та особливості роботи автомобільного Двигуна.</i>		
2.	<i>Розрахунок робочого циклу для номінального режиму роботи дизеля.</i>		
3.	<i>Модернізація паливної апаратури автомобільного двигуна.</i>		
4.	<i>Економічне обґрунтування виконаної модернізації паливної системи.</i>		
5.	<i>Аналіз та розробка заходів охорони праці та навколишнього середовища при застосуванні двигуна</i>		

Здобувач освіти

(підпис)*Артур МАКСИМЕНЮК*_____
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)*Олександр МИТРОФАНОВ*_____
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота пов'язана з проведенням модернізації паливної апаратури автомобільного високообертового дизельного двигуна 4ЧН 11/12,5 з метою покращення економічних та екологічних показників його роботи.

В роботі виконано стислий опис конструкції та основних систем двигуна 4ЧН 11/12,5, що застосовується на вантажних автомобілях, самоскидах, автобусах та інших промислових машини. Проведено моделювання номінального режиму роботи у програмному комплексі Блиц-PRO.

Запропоновано технічне рішення щодо модернізації паливної апаратури автомобільного двигуна 4ЧН 11/12,5, а саме замінити штатний ПНВТ на новий з двоплунжерними робочими секціями та можливістю роздільного електронного керування моментом початку подавання пального і моментом закінчення. Також було розроблено та розраховано основні елементи конструкції нового ПНВТ. Така модернізація забезпечила підвищення паливної економічності (зниження питомої ефективної витрати палива складає 5 г/кВт·год) з одночасним збереженням потужності двигуном та покращення екологічних показників (питомий масовий вміст оксидів азоту в ВГ NO_x знизився з 18,86 до 16,66 г/(кВт·год) або у частках на мільйон з 2543,456 до 2365,826 ppm; об'ємний вміст сажі у ВГ [C] з 0,018 до 0,012 г/м³ або у за шкалою Hartridge з 7,38 до 4,99 %). Річний економічний ефект від модернізації двигуна склав 45662,54 грн.

Розроблено заходи з техніки безпеки при ремонті та технічному обслуговуванні автотранспорту, а також проведено розрахунок рівня шуму та вібрації від модернізованого двигуна 4ЧН 11/12,5.

Магістерська робота виконана українською мовою на 82 аркушах розрахунково-пояснювальної записки з використанням 12 джерел. Графічна частина представлена п'ятьма кресленнями формату – А1.

Ключові слова: двигун внутрішнього згоряння, паливна система, паливний насос високого тиску, ефективні показники, екологічні показники.

					КРМ.142.6221мз.06.00.ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

ABSTRACTS

The qualification work is related to the modernisation of the fuel equipment of the 4CHN 11/12.5 high-speed diesel engine in order to improve the economic and environmental performance of its operation.

The paper provides a brief description of the design and main systems of the 4CHN 11/12.5 engine used in trucks, dump trucks, buses and other industrial machines. The modelling of the nominal operating mode in the Blitz-PRO software package was carried out.

A technical solution was proposed to modernise the fuel equipment of a 4ChN 11/12.5 automotive engine, namely to replace the standard fuel pump with a new one with two plunger working sections and the possibility of separate electronic control of the start and end times of fuel supply. The main structural elements of the new fuel pump were also designed and calculated. This upgrade has improved fuel efficiency (reduction of specific effective fuel consumption by 5 g/kWh) while maintaining engine power and environmental performance (specific mass content of nitrogen oxides in the NO_x decreased from 18.86 to 16.66 g/(kWh) or in parts per million from 2543.456 to 2365.826 ppm); volumetric soot content in GHG [C] from 0.018 to 0.012 g/m³ or in Hartridge scale from 7.38 to 4.99 %). The annual economic effect of the engine modernisation was UAH 45662.54.

Safety measures for the repair and maintenance of vehicles were developed, and the noise and vibration levels from the upgraded 4CHN 11/12.5 engine were calculated.

The master's thesis was written in Ukrainian on 82 pages of calculation and explanatory notes using 12 sources. The graphic part is represented by five drawings of A1 format.

Key words: internal combustion engine, fuel system, high-pressure fuel pump, efficiency, environmental performance.

					<i>KPM.142.6221мз.06.00.ПЗ</i>	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

ВСТУП

РОЗДІЛ 1 ОСОБЛИВОСТІ БУДОВИ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГУНА 4ЧН 11/12,5

- 1.1. Загальна характеристика двигуна 4ЧН 11/12,5.....
- 1.2. Висновок до розділу.....

РОЗДІЛ 2 РОЗРАХУНОК НОМІНАЛЬНОГО РЕЖИМУ РОБОТИ ДВИГУНА 4ЧН 11/12,5

- 2.1. Обрання вхідних дані для розрахунку циклу двигуна за допомогою програмного комплексу Блиц-PRO.....
- 2.2. Розрахунок робочого циклу двигуна 4ЧН 11/12,5 за допомогою програмного комплексу Блиц-PRO.....
- 2.3. Висновок до розділу.....

РОЗДІЛ 3 МОДЕРНІЗАЦІЯ ПАЛИВНОЇ АПАРАТУРИ АВТОМОБІЛЬНОГО ДВИГУНА 4ЧН 11/12,5

- 3.1. Основні вимоги до сучасних паливних систем дизелів.....
- 3.2. Технічна реалізація модернізації паливної апаратури автомобільного двигуна 4ЧН 11/12,5.....
- 3.3. Оцінка ефективності застосування модернізованого ПНВТ на двигуні 4ЧН 11/12,5 за допомогою програмного комплексу Блиц-Про.....
- 3.4. Розрахунок деталей паливного насоса високого тиску з двоплунжерними робочими секціями.....
- 3.5. Висновок до розділу.....

РОЗДІЛ 4 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ ПАЛИВНОЇ АПАРАТУРИ ДВИГУНА 4ЧН 11/12,5

РОЗДІЛ 5 АНАЛІЗ І РОЗРОБКА ЗАХОДІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

					<i>KPM.142.6221мз.06.00.ПЗ</i>	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

**ВИМОГ ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА ОХОРОНИ
НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА**

- 5.1. Розробка заходів з техніки безпеки при здійсненні ремонту та
технічного обслуговування автотранспортних засобів.....
- 5.2. Охорона навколишнього середовища.....
- 5.3. Висновки до розділу.....

ВИСНОВОК ПО РОБОТІ

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- Додаток А. Загальний вигляд вантажного автомобіля.....
- Додаток Б. Поперечний розріз двигуна 4ЧН 11/12,5.....
- Додаток В. Двоплунжерна робоча секція ПНВТ (лист 1).....
- Додаток Г. Двоплунжерна робоча секція ПНВТ (лист 2).....
- Додаток Д. ПНВТ із двома кулачковими валами.....

					<i>КРМ.142.6221мз.06.00.ПЗ</i>	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Одним з основних шляхів підвищення якості енергонасичених автобусів, вантажних автомобілів, тракторів, різної сільськогосподарської техніки з дизельними двигунами є збільшення їхньої надійності, поліпшення економічності та забезпечення вимог екології. Роботи з удосконалення дизельних двигунів ведуться в таких напрямках: зниження маси та зменшення габаритних розмірів, поліпшення питомих потужностних показників, підвищення паливної економічності за умови забезпечення можливості роботи на альтернативних видах палива, зниження негативного впливу на навколишнє середовище, підвищення безвідмовності та довговічності, зниження трудомісткості та частоти технічних обслуговувань.

Прагнення реалізувати в усьому діапазоні режимів роботи двигуна оптимальні закони тепловиділення і, отже, високі потужностні, економічні та екологічні показники вимагає модернізації та вдосконалення паливної апаратури, а також автоматизованого управління впорскуванням палива в циліндри, що здатні забезпечити паливні системи з електронним управлінням.

Відповідно до теми кваліфікаційної роботи: **«Модернізація конструкції паливної апаратури автомобільного двигуна»** пропонується можливий перспективний шлях підвищення ефективності енергоперетворення в транспортному двигуні за рахунок певних технічних рішень спрямованих на вдосконалення роботи паливної апаратури.

					КРМ.142.6221мз.06.00.ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1

ОСОБЛИВОСТІ БУДОВИ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГУНА 4ЧН 11/12,5

1.1. Загальна характеристика двигуна 4ЧН 11/12,5

Дизель 4ЧН 11/12,5 або за заводським маркуванням Д-245 (рис. 1.1) та його модифікації є 4-х тактним поршневим чотирициліндровим двигуном внутрішнього згоряння з рядним вертикальним розташуванням циліндрів, безпосереднім упорскуванням дизельного палива та запалення від стиснення. Двигуни даного типу можуть використовуватися на поодиноких вантажних автомобілях, самоскидах, автобусах з колісною формулою 4x2 і 4x4 повною масою до 12 т. Також дизелі 4ЧН 11/12,5 та їхні модифікації призначені для встановлення на трактори класу 14-20 кН тяги, сільськогосподарські, лісові та промислові машини й агрегати різного призначення.

Область застосування дизелів – місця з необмеженим повітрообміном. Дизелі розраховані на експлуатацію за температури навколишнього повітря від плюс 40 °С до мінус 45 °С.

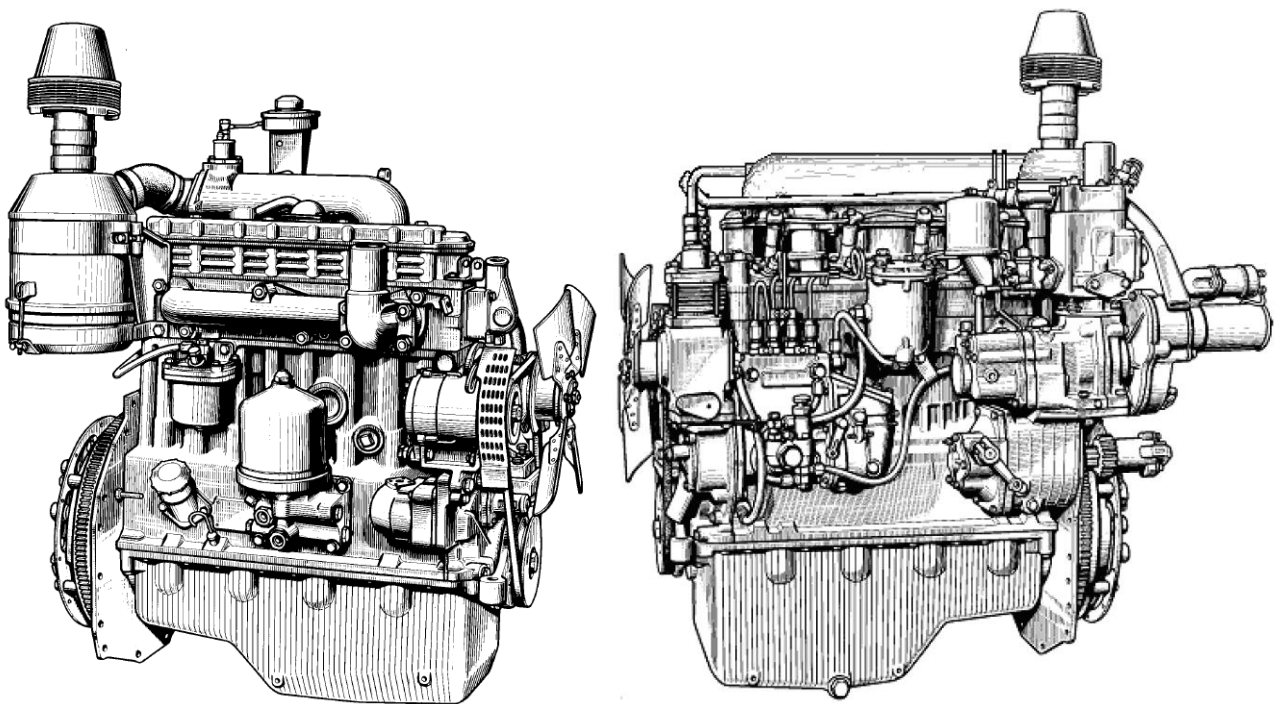


Рисунок 1.1 – Загальний вигляд двигуна 4ЧН 11/12,5

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

КРМ.142.6221мз.06.01.ПЗ

Аркуш

Основними складальними одиницями дизеля 4ЧН 11/12,5 є: блок циліндрів, головка циліндрів, поршні, шатуни, колінчастий вал та маховик. Для забезпечення високих техніко-економічних показників дизеля в системі впуску застосовано турбонаддув із проміжним охолодженням надувного повітря.

Головка циліндрів являє собою чавунну виливку, у внутрішніх порожнинах якої є впускні та випускні канали, що закриваються клапанами. Для забезпечення відведення тепла головка циліндрів має внутрішні порожнини, в яких циркулює охолоджувальна рідина.

Головка циліндрів дизеля 4ЧН 11/12,5 має вставні сидла клапанів, виготовлені з жароміцного і зносостійкого сплаву. На голівці циліндрів зверху встановлюються стійки, вісь коромисел із коромислами, кришка головки, впускний колектор і ковпак кришки, що закриває клапанний механізм. З боку паливного насоса в голівці встановлено чотири форсунки, а з боку генератора до головки кріпиться випускний колектор. Для ущільнення роз'єму між головкою і блоком циліндрів встановлено прокладку з армованого перфорованим сталевим листом азбестового або безазбестового полотна. Отвори для гільз циліндрів і масляного каналу окантовані сталевими обичайками.

Під час складання дизеля на заводі циліндрові отвори прокладки додатково окантовують фторопластовими розрізними кільцями.

Блок циліндрів є основною корпусною деталлю дизеля і являє собою жорсткий чавунний виливок. У вертикальних розточках блоку встановлено чотири знімні гільзи, виготовлені зі спеціального чавуну.

Гільза встановлюється в блок циліндрів за двома центрувальними поясами: верхнім і нижнім. У верхньому поясі гільза закріплюється буртом, у нижньому – ущільнюється двома гумовими кільцями, розміщеними в канавках блока циліндрів.

Гільзи за внутрішнім діаметром сортуються на три розмірні групи: велика (Б), середня (С) і мала (М). Маркування групи наноситься на західному конусі гільзи. На дизелі встановлюються гільзи однієї розмірної групи.

					<i>КРМ.142.6221мз.06.01.ПЗ</i>	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Між стінками блока циліндрів і гільзами циркулює охолоджувальна рідина. Торцеві стінки і поперечні перегородки блока циліндрів мають припливи, призначені для утворення опор колінчастого вала. На ці припливи встановлено кришки. Припливи разом із кришками утворюють постелі для корінних підшипників. Постелі під вкладиші корінних підшипників розточені з однієї установки в зборі з кришками корінних підшипників. Міняти кришки місцями не допускається.

Блок циліндрів має поздовжній канал, від якого поперечними каналами масло надходить до корінних підшипників колінчастого вала і підшипників розподільного вала.

Блок циліндрів дизеля 4ЧН 11/12,5 у другій і четвертій верхніх опорах колінчастого вала має форсунки, які служать для охолодження поршнів струменем масла.

На зовнішніх поверхнях блока циліндрів є оброблені привалочні площини для кріплення відцентрового масляного фільтра, водяного насоса, фільтрів грубого і тонкого очищення палива, маслозаливної горловини.

Основними деталями кривошипно-шатунного механізму є: колінчастий вал, поршні з поршневыми кільцями та пальцями, шатуни, корінні та шатунні підшипники, маховик.

Колінчастий вал – сталевий, має п'ять корінних і чотири шатунні шийки. У шатунних шийках колінчастого вала є порожнини для додаткового відцентрового очищення масла. Порожнини шийок закриті різьбовими заглушками.

Осьове зусилля колінчастого вала сприймається чотирма півкільцями, встановленими в розточках блока циліндрів і кришки п'ятого корінного підшипника. Для зменшення навантажень на підшипники від сил інерції на першій, четвертій, п'ятій і восьмій щоках колінчастого вала встановлюються противаги. Спереду і ззаду колінчастий вал ущільнюється манжетами. На передній кінець вала встановлюються шестерня приводу газорозподілу (шестерня колінчастого вала), шестерня приводу масляного насоса, шків приводу водяного насоса і генератора. На задній фланець вала кріпиться маховик.

					<i>КРМ.142.6221мз.06.01.ПЗ</i>	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Колінчастий вал може виготовлятися і встановлюватися на дизель двох виробничих розмірів (номіналів). Колінчастий вал, шатунні та корінні шийки якого виготовлені за розміром другого номіналу, має на першій щогі додаткове маркування. Колінчастий вал дизеля 4ЧН 11/12,5 виготовляється з легованої сталі, має маркування (Б) на восьмій шийці.

Поршень виготовляється з алюмінієвого сплаву. У днищі поршня виконана камера згоряння. У верхній частині поршень має чотири канавки – у перші три встановлюють компресійні кільця, у четверту – маслоснімне кільце. У поршні дизеля 4ЧН 11/12,5 у канавку під верхнє компресійне кільце трапецеїдальної форми залита вставка зі спеціального чавуну. У бобишках поршня розточені отвори під поршневий палець.

Поршні за зовнішнім діаметром спідниці сортуються на три розмірні групи (Б, С, М). Маркування групи наноситься на днище поршня. Під час установлення на дизель гільзи і поршні мають бути однієї розмірної групи.

Поршневі кільця виготовлені з чавуну. Верхнє компресійне кільце дизеля 4ЧН 11/12,5 хромоване, в перерізі прямокутне, без маркування, встановлюється в канавці довільно. Друге і третє компресійні кільця конусні, на торцевій поверхні біля замка мають маркування «верх» («ТОР»). Маслоснімне кільце коробчатого типу зі спіральним сталевим розширювачем. Схема встановлення поршневих кілець наведена на рис. 1.2.

Поршневий палець – порожнистий, виготовлений із хромонікелевої сталі. Осьове переміщення пальця в бобишках поршня обмежується стопорними кільцями.

Шатун – сталевий, двотаврового перерізу. У верхню головку його запресована втулка. Для змащення поршневого пальця у верхній голівці шатуна і втулці є отвори. Розточування постелі в нижній голівці шатуна під вкладиші проводиться в зборі з кришкою. Тому міняти кришки шатуна не допускається. Шатун і кришка мають однакові номери, набиті на їхніх поверхнях. Крім того, шатуни мають вагові групи за масою верхньої і нижньої головок. Позначення групи за масою на-

					<i>КРМ.142.6221мз.06.01.ПЗ</i>	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

носиться на торцевій поверхні верхньої головки шатуна. На дизелі мають бути встановлені шатуни однієї групи.

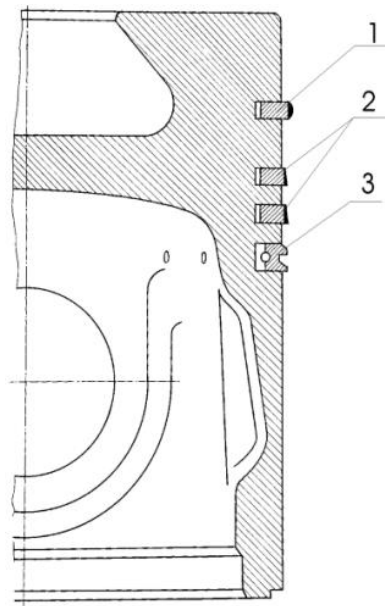


Рисунок 1.2 – Схема встановлення поршневих кілець:

1– верхнє компресійне кільце; 2 – компресійне конусне кільце;
3 – маслоснімне кільце

Вкладиші корінних і шатунних підшипників колінчастого вала – з біметалічної смуги. На дизелях використовуються вкладиші корінних і шатунних підшипників двох розмірів відповідно до номіналу шийок колінчастого вала. Для ремонту дизеля передбачено також чотири ремонтні розміри вкладишів.

Маховик виготовлений із чавуну, кріпиться до фланця колінчастого вала болтами. На маховик напресований сталевий зубчастий вінець.

Механізм газорозподілу складається з розподільного вала, впускних і випускних клапанів, а також деталей їхнього встановлення та приводу: штовхачів, штанг, коромисел, регулювальних гвинтів із гайками, тарілок із сухариками, пружин, стійок і осі коромисел.

Розподільний вал – триколісний, приводиться в дію від колінчастого вала через шестерню розподілу. Підшипниками розподільного вала слугують три втулки, запресовані в розточки блока. Передня втулка (з боку вентилятора) з алюмінієвого

сплаву, має упорний борт, що утримує розподільний вал від осевого переміщення, решта втулок чавунні.

Штовхачі – сталеві. Робоча поверхня тарілки штовхача наплавлена вибіленим чавуном і має сферичну поверхню великого радіуса (750 мм). Унаслідок того, що кулачки розподільного вала виготовлені з невеликим конусом, штовхачі в процесі роботи здійснюють обертальний рух.

Штанги штовхачів виготовлені зі сталевих прутків. Сферична частина, що входить всередину штовхача, і чашка штанги загартовані.

Коромисла клапанів – сталеві, гойдаються на осі, встановленій на чотирьох стійках. Крайні стійки – підвищеної жорсткості. Вісь коромисел порожниста, має вісім радіальних отворів для змащення коромисел. Переміщення коромисел уздовж осі обмежується розпирними пружинами.

Впускні та випускні клапани виготовлені з жароміцної сталі. Вони переміщуються в напрямних втулках, запресованих у головку циліндрів. Кожен клапан закривається під дією двох пружин: зовнішньої і внутрішньої, які впливають на клапан через тарілку і сухарики.

Ущільнювальні манжети, встановлені на напрямні втулки клапанів, унеможливають потрапляння оливи до циліндрів дизеля і випускного колектора через зазори між стрижнями клапанів і напрямними втулками.

Система живлення дизеля, відповідно до рис. 1.3, складається з паливного насоса, форсунок, трубопроводів низького і високого тиску, повітроочисника, впускного і випускного колекторів, паливних фільтрів грубого і тонкого очищення, паливного бака, який встановлюють на тракторі (машині). Також у систему живлення входить турбокомпресор.

На дизель встановлюється паливний насос високого тиску 4УТНІ-Т. Насос приводиться від колінчастого вала дизеля через розподільні шестерні. Паливний насос має всережимний регулятор і підкачувальний насос поршневого типу, два важелі керування.

					<i>KPM.142.6221мз.06.01.ПЗ</i>	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

У регуляторі насоса розміщуються коректор подачі палива, автоматичний збагачувач подачі палива (на пускових обертах) та пневматичний обмежувач димлення (пневмокоректор).

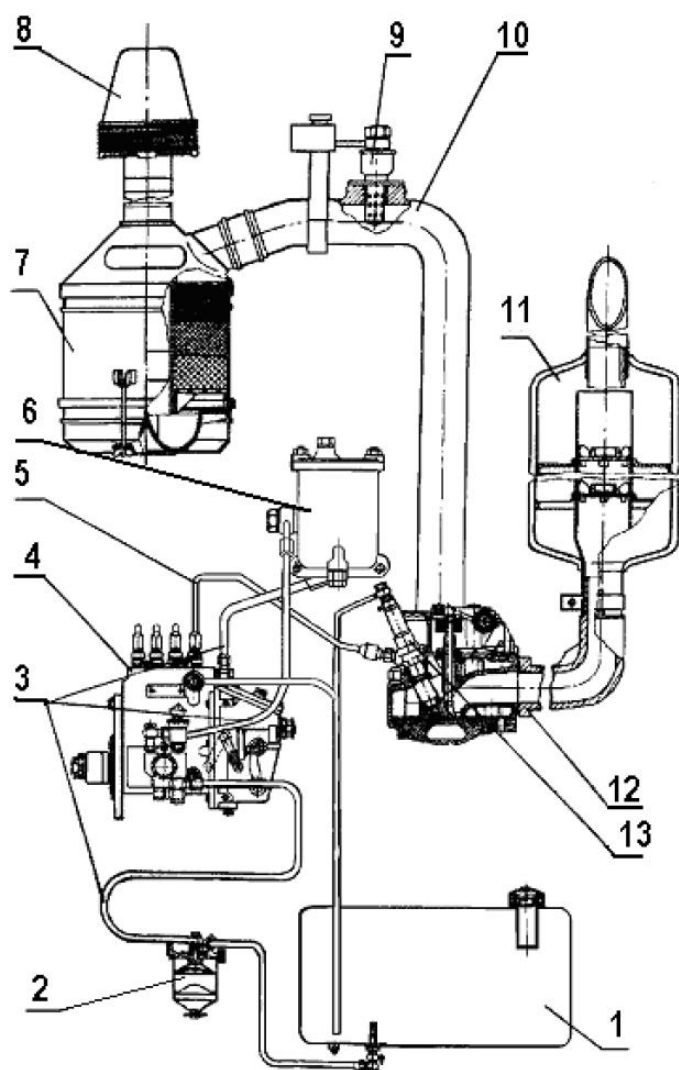


Рисунок 1.3 – Схема живлення дизеля:

1 – паливний бак; 2 – фільтр грубого очищення палива; 3 – трубки паливні; 4 – паливний насос; 5 – трубка паливна високого тиску; 6 – фільтр тонкого очищення палива; 7 – фільтр очищення повітря; 8 – фільтр грубого очищення повітря; 9 – електрофакельний підігрівач; 10 – впускний колектор; 11 – глушник; 12 – випускний колектор; 13 – форсунка

Підкачувальний насос встановлений на корпусі насоса високого тиску і приводиться ексцентриком кулачкового вала.

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

KPM.142.6221мз.06.01.ПЗ

Аркуш

Робочі деталі паливних насосів змащуються проточним маслом, що надходить із системи змащення дизеля в корпус насоса через спеціальний отвір у фланці. Злив масла з корпусу насоса в картер дизеля здійснюється через спеціальне свердління у фланці.

Під час установа на дизель нового або відремонтованого насоса необхідно залити в нього 200...250 см³ масла, застосовуваної для змащування дизеля, через маслозаливний отвір на кришці регулятора.

Форсунка призначена для впорскування палива в циліндр дизеля. Вона забезпечує необхідний розпил палива і обмежує початок і кінець подачі. На дизелях застосовується форсунка з п'ятидирчастим розпилювачем закритого типу.

Фільтр грубого очищення служить для попереднього очищення палива від механічних домішок і води. Фільтр грубого очищення складається з корпусу, відбивача із сіткою, розсіювача, склянки із заспокоювачем. Злив відстою з фільтра проводиться через отвір у нижній частині склянки, що закривається пробкою.

Фільтр тонкого очищення служить для остаточного очищення палива. Фільтр тонкого очищення має змінний паперовий елемент. Паливо, проходячи крізь штори паперового фільтрувального елемента, очищається від механічних домішок. У нижній частині корпусу фільтра є отвір із пробкою для зливу відстою. Для видалення повітря із системи живлення на кришці фільтра розташована спеціальна пробка.

Повітроочисник служить для очищення всмоктуваного в циліндри повітря. Повітроочисник дизеля комбінований: сухе відцентрове очищення і масляний пиловловлювач з мокрим капроновим фільтром. У корпусі повітроочисника встановлено три фільтрувальні елементи з капронової щетини різного діаметра.

На дизелі 4ЧН 11/12,5 і його модифікаціях передбачено також застосування повітроочисника, встановлюваного споживачем, що складається з основного і контрольного паперових фільтр-патронів. На всіх дизелях із запуском від електротартера у впускному колекторі встановлюють електрофакельний підігрівач, який слугує для підігріву повітря, що всмоктується в циліндри, з метою полегшення пуску дизеля за низької температури навколишнього повітря.

					<i>KPM.142.6221мз.06.01.ПЗ</i>	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

На дизелі 4ЧН 11/12,5 і його модифікаціях встановлено турбокомпресор (рис. 1.4), який використовує енергію відпрацьованих газів для наддуву повітря в циліндри дизеля. Принцип роботи турбокомпресора полягає в тому, що відпрацьовані гази з циліндрів дизеля під тиском надходять через випускний колектор в улиткові канали турбіни. Розширюючись, гази обертають ротор, колесо компресора яке через повітроочисник всмоктує повітря і подає під тиском у циліндри дизеля.

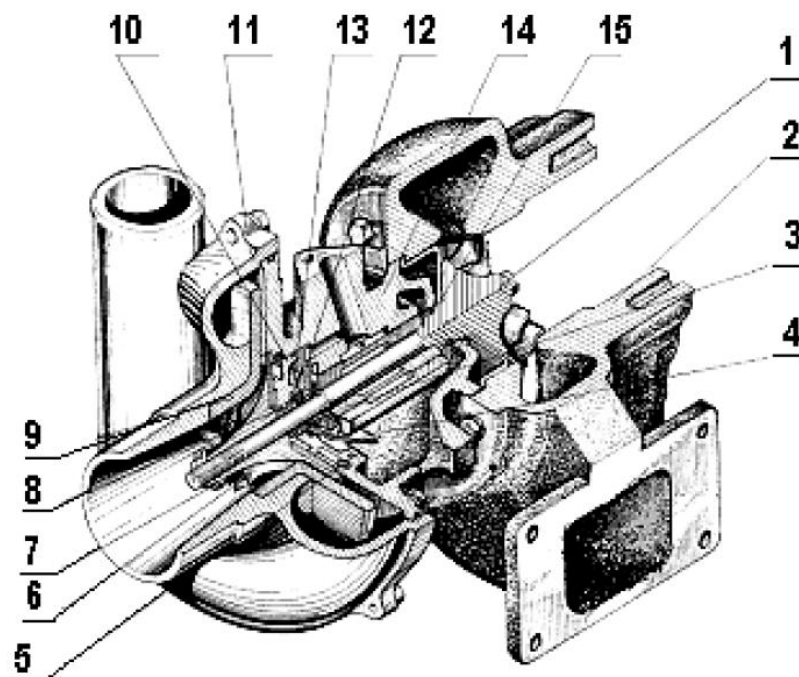


Рисунок 1.4 – Турбокомпресор двигуна 4ЧН 11/12,5:

1 – колесо турбіни з валом; 2 – корпус турбіни; 3 – моновтулка; 4 – масловідбивач; 5 – кільце ексцентричне; 6 – колесо компресора; 7 – гайка спеціальна; 8, 15 – кільця ущільнювачів; 9 – дифузор; 10 – кришка; 11 – корпус компресора; 12 – упорний підшипник; 13 – втулка розпірна; 14 – корпус середній (корпус підшипників)

Охолодження дизеля 4ЧН 11/12,5 рідинне з примусовою циркуляцією охолоджувальної рідини від відцентрового насоса. Температуру охолоджувальної рідини в системі контролюють за дистанційним термометром, датчик якого встановлений у головці циліндрів. На дизелі 4ЧН 11/12,5 і його модифікаціях, крім того, передбачено місце для встановлення датчика в корпусі термостата. Забороняється

експлуатація дизеля в разі загоряння лампи перегріву охолоджувальної рідини. Температура охолоджувальної рідини в системі охолодження повинна підтримуватися в межах 85...95 °С.

Для прискорення прогріву дизеля після пуску й автоматичного регулювання температурного режиму за різних навантажень і температур навколишнього повітря служить термостат із твердим наповнювачем.

Водяний насос, вентилятор і генератор приводяться в обертання від шківів колінчастого вала дизеля за допомогою клинового ремня. Мастило «Літол-24» у підшипникову порожнину насоса закладено під час складання. Змащування підшипників насоса не потрібне протягом усього періоду експлуатації дизеля. Система охолодження дизелів із запуском від пускового двигуна з'єднана з системою охолодження пускового двигуна. Сорочка охолодження циліндра пускового двигуна сполучається з сорочкою охолодження головки циліндрів дизеля, а сорочка охолодження головки циліндра пускового двигуна – з корпусом термостата дизеля.

Система змащення дизеля комбінована. Підшипники колінчастого і розподільного валів, втулки проміжної шестерні і шестерні приводу паливного насоса, шатунний підшипник колінчастого вала пневмокомпресора, а також механізм приводу клапанів, а на дизелі підшипник вала турбокомпресора змащуються під тиском. Гільзи, поршні, поршневі пальці, штанги, штовхачі та кулачки розподільного вала змащуються розбризкуванням.

Масляний насос – шестеренного типу, односекційний, кріпиться болтами до кришки першого корінного підшипника. Насос подає мастило патрубком і каналами блока циліндрів до відцентрового фільтра, в якому воно очищується від сторонніх домішок, продуктів згоряння і зносу. З відцентрового фільтра очищене масло надходить у радіатор для охолодження, а на дизелі 4ЧН 11/12,5, крім того, маслопідвідною трубою до підшипника вала турбокомпресора. З масляного радіатора масло надходить у магістраль дизеля. У корпусі відцентрового масляного фільтра є редукційний, зливний та запобіжний клапани.

					<i>КРМ.142.6221мз.06.01.ПЗ</i>	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Під час пуску дизеля непрогріте масло внаслідок великого опору радіатора через редуційний (радіаторний) клапан надходить безпосередньо в магістраль дизеля, мінаючи радіатор.

Запобіжний клапан (клапан відцентрового фільтра) служить для підтримання тиску оливи перед ротором фільтра 0,8 МПа. У разі підвищення тиску вище зазначеного частина неочищеного масла зливається через клапан у картер дизеля. Редуційний і запобіжний клапани не регульовані.

На працюючому дизелі категорично забороняється відвертати пробки редуційного і запобіжного клапанів. Зливний клапан відрегульований на тиск 0,25 ... 0,35 МПа і служить для підтримання необхідного тиску масла в головній магістралі дизеля. Надлишкове масло зливається через клапан у картер дизеля.

З головної магістралі дизеля каналами в блоці циліндрів масло надходить до всіх корінних підшипників колінчастого і шийок розподільного валів. Від корінних підшипників каналами в колінчастому валі воно йде до всіх шатунних підшипників. Від першого корінного підшипника мастило спеціальними каналами надходить до втулок проміжної шестерні та шестерні приводу паливного насоса, а також до паливного насоса.

Деталі клапанного механізму змащуються маслом, яке надходить від заднього підшипника розподільного вала каналами в блоці, голівці циліндрів, свердлінням у IV стійці коромисел у внутрішню порожнину осі коромисел і через отвір до втулки коромисла, від якої каналом йде на регулювальний гвинт і штангу.

До пневмокомпресора масло надходить із головної магістралі по свердліннях у блоці циліндрів і спеціальному маслопроводу. З компресора масло зливається в картер дизеля.

1.2. Висновок до розділу

Високообертовий дизельний двигун типу – 4ЧН 11/12,5 є досить сучасним та надійним двигуном, що має досить значний резерв для модернізування та вдосконалення. Дизельний двигун є досить універсальним тому може застосовуватися вантажних автомобілях, самоскидах, автобусах, тракторах, а також

					<i>KPM.142.6221мз.06.01.ПЗ</i>	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

сільськогосподарських, лісових промислових машинах й агрегатах різного призначення.

Однак з постійним підвищенням екологічних норм та вимог до витрати палива (економічність) двигун 4ЧН 11/12,5 потребує вдосконалення. Одним з складових елементів двигуна яке може бути покращене та у значній мірі впливає на відмічені показників може бути паливна апаратура дизеля, яка безпосередньо впливає на якість процесу згоряння та відповідно на екологічні та економічні показники.

					<i>КРМ.142.6221мз.06.01.ПЗ</i>	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2

РОЗРАХУНОК НОМІНАЛЬНОГО РЕЖИМУ РОБОТИ

ДВИГУНА 4ЧН 11/12,5

2.1. Обрання вхідних даних для розрахунку циклу двигуна за допомогою програмного комплексу Блиц-PRO

В стандартній (повній) комплектації Блиц-Про для розрахунку необхідно майже 300 вихідних даних. Більшість з цих даних в розрахунку двигуна 4ЧН 11/12,5 не враховуються в зв'язку з тим, що ті дані стосуються двигунів інших типів або враховуються лише в деяких умовах.

Приведемо вхідні дані для розрахунку циклу:

- $D = 0,11$ м – діаметр циліндра, задається в завданні;
- $S = 0,125$ м – хід поршня, задається в завданні;
- $i_z = 4$ – кількість циліндрів, задається в завданні;
- $n = 2400$ об/хв – частота обертання валу двигуна, обирається з паспортних даних двигуна прототипу;
- $N_e = 100$ кВт – потужність двигуна, обирається з паспортних даних двигуна прототипу;

– $a'_{mp} = 0,06$ МПа
 – $b'_{mp} = 45$ МПа · хв/об – коефіцієнти, що входять в рівняння визначення відносної потужності механічних втрат на тертя. Чим менші дані коефіцієнти – тим краще. Чим досконаліший двигун, тим вони менші. Для дизельних двигунів дані коефіцієнти лежать в межах: $a'_{mp} = (0,06...0,09)$ МПа, $b'_{mp} = (45...100)$ МПа · хв/об .

– $\lambda = 0,195$ – кривошипно-шатунне відношення, знаходиться як відношення радіусу кривошипу до довжини шатуна.

– $\varepsilon = 17$ – ступінь стискування, обирається з паспортних даних двигуна прототипу.

Параметри основних елементів газоповітряного тракту двигуна

					<i>KPM.142.6221мз.06.02.ПЗ</i>	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

– $V_{в.к} / V_s = 4$ – відношення обсягу частини випускного колектора, що об'єднує кілька циліндрів до робочого об'єму циліндра двигуна. Розраховується з врахуванням реальних деталей двигуна;

– $i_{з1к} = 4$ – число циліндрів, об'єднаних одним випускним колектором, обирається з врахуванням числа циліндрів двигуна (не більше 3 циліндрів на 1 колектор), або з реального двигуна. Крім того, на 4-х циліндрових двигунах малої потужності завжди ставиться 1 колектор;

– $L_s = 0,075$ м – довжина впускних патрубків протягом газу в яких розраховується в нестационарної постановці.

– $d_s = 0,035$ м – діаметр впускних патрубків протягом газу в яких розраховується в нестационарної постановці;

– $L_s = 0,04$ м – довжина випускних патрубків протягом газу в яких розраховується в нестационарної постановці;

– $d_s = 0,04$ м – діаметр випускних патрубків протягом газу в яких розраховується в нестационарної постановці;

– $V_{н.р} / V_s = 4$ – відношення обсягу частини нагнітального трубопроводу підпоршневої порожнини, що об'єднує кілька циліндрів до робочого об'єму циліндрів;

– $i_{з1наг} = 4$ – число циліндрів, що об'єднуються загальним нагнітальним трубопроводом підпоршевих порожнин;

– $V_{в.р} / V_s = 4$ – відношення обсягу частині повітряного ресивера, що об'єднує кілька циліндрів до робочого об'єму циліндрів;

– $i_{з1р} = 4$ – число циліндрів, що об'єднуються загальним повітряним ресивером двигуна;

– $\mu F_s = 0,121$ м² – прохідний перетин вихідного патрубка ОНГ. Обирається або з розмірів реального ОНГ. В приблизних розрахунках береться як діаметр циліндру в квадраті.

Параметри турбокомпресора

– $\mu_{к.Г} = 0,85$ – масштабний коефіцієнт х-тик компресора по витраті;

					КРМ.142.6221мз.06.02.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

- $\mu_{\kappa,\eta} = 1,05$ – масштабний коефіцієнт χ -тики ефективності компресора;
- $\mu_{\kappa,Пк} = 1,75$ – масштабний коефіцієнт χ -тики компресора по $Пк$;
- $\mu_{t,G} = 0,617$ – масштабний коефіцієнт χ -тик турбіни по витраті;
- $\mu_{t,\eta} = 1$ – масштабний коефіцієнт χ -тики ефективності турбіни;
- $\mu_{t,Пк} = 1,75$ – масштабний коефіцієнт χ -тики турбіни по $П_t$.

Дані коефіцієнти підбираються з допомогою програми «Майстра оцифровки характеристик турбокомпресора» в залежності від вибраного турбокомпресора, режиму роботи двигуна і реальних показників турбокомпресорів. Після підбору з допомогою даних коефіцієнтів, характеристика з «Майстра..» повинна приблизно співпадати з обраною (характеристикою турбокомпресора-прототипу) і мати при цьому ефективні показники ККД.

- $f_{пл} = 0,00011 \text{ м}^2$ – прохідний перетин обвідного каналу турбіни ТК1 (на пріоритетному режимі роботи). В випадках підвищеної витрати буде відкриватися (прохідний перетин збільшуватись);

- $\eta_{a,\kappa}$ – адіабатний ККД компресора, визначається з характеристики турбокомпресора («Майстра оцифровки»);

- $\eta_{в,t}$ – внутрішній ККД турбіни, визначається з характеристики турбокомпресора («Майстра оцифровки»);

- $\eta_{m,t} = 0,98$ – механічний ККД турбокомпресора. Обирається на основі досягнень максимальних ККД сучасних турбокомпресорів;

- μF_t – пропускна здатність турбіни, визначається з характеристики турбокомпресора («Майстра оцифровки»);

- $T_0 = 298 \text{ К}$ – температура навколишнього середовища, обирається в залежності від умов, в яких буде працювати двигун;

- $p_0 = 100 \text{ кПа}$ – тиск навколишнього середовища;

- $\phi_{вс} = 60 \%$ – вологість повітря на всмоктуванні в компресор, обирається в залежності від умов, в яких буде працювати двигун;

					КРМ.142.6221мз.06.02.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

- $\xi_{np} = 1$ – відношення тиску за дросельної заслінкою до тиску перед дросельною заслінкою (тільки для ДЗІЗ, для дизелів - 1);
- $P_{\kappa 1} = 2,3$ – ступінь підвищення тиску повітря в ТК, задається вихідних даних;
- $\Delta p_{\kappa 1} = 4,5 \text{ кПа}$ – втрата тиску в проміжному охолоджувачі №1, задається в залежності від охолоджувача і режиму роботи двигуна (для режиму МКМ і в хороших охолоджувачах дана величина рівна $\Delta p_{\kappa 1} = 1...3 \text{ кПа}$);
- $T_{w1OHB1} = 320 \text{ К}$ – температура охолоджуючого теплоносія на вході в ОНП, залежить від системи охолодження і найчастіше лежить в межах $t_{w1OHB1} = 35...85^\circ \text{ С}$.
- $\eta_{OHB} = 0,75$ – ККД ОНП (залежить від системи охолодження двигуна може досягати 97 % в маловитратних системах, а в повно потокових, яка і стоїть на даному двигуні, лежить в межах $\eta_{OHB} = 0,75...0,9$);
- $\Delta p_t = 6,7 \text{ кПа}$ – опір системи газовипуску (від вихідного зрізу турбіни ТК). Залежить від режиму роботи двигуна, якості поверхні газовипуску, кількості різних поворотів. Для МКМ лежить в межах $\Delta p_t = 2...4 \text{ кПа}$.

Вихідні дані визначають процеси відводу тепла в охолоджуючі агенти (воду і масла)

- $\delta_{em} = 0,0072 \text{ м}$ – умовна середня товщина стінки втулки;
 - $\delta_{kp} = 0,009 \text{ м}$ – умовна середня товщина стінки кришки;
 - $\delta_n = 0,007 \text{ м}$ – умовна середня товщина днища поршня;
 - $h_{np} = 0,055 \text{ м}$ – висота поршня;
 - $h_{o,em} = 88\%$ – довжина частини втулки, що охолоджується (у відсотках від S);
- (ці параметри конструктивні і беруться з креслення або з довідкових даних деталей двигуна-прототипу);
- $\lambda_{em} = 0,035 \text{ кВт/(м}\cdot\text{К)}$ – коефіцієнт теплопровідності матеріалу втулки. Залежить від матеріалу: сталь – 30 ... 39 Вт/м·К); чавуни - 30 ... 55 Вт/(м·К).
 - $\lambda_{kp} = 0,035 \text{ кВт/(м}\cdot\text{К)}$ – коефіцієнт теплопровідності матеріалу кришки;

					<i>KPM.142.6221мз.06.02.ПЗ</i>	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

– $\lambda_{кр} = 0,15 \text{ кВт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ – коефіцієнт теплопровідності матеріалу днища поршня, алюмінієві сплави - $140 \dots 170 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$;

– $R_{ст.ст} = 0,3(\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{кВт}$ – коефіцієнт термічного опору шару забруднень на стінці втулки;

– $R_{ст.кр} = 0,3(\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{кВт}$ – коефіцієнт термічного опору шару забруднень на стінці кришки;

– $R_{ст.пр} = 0,3(\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{кВт}$ – коефіцієнт термічного опору шару забруднень на стінці поршня;

(за правилами ТЕМА для теплообмінника гранично допустимий $R_{ст} = 0,3 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{кВт}$. Шар сажі $0,25 \text{ мм}$ $R_{ст} = 4 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{кВт}$);

– $a_{трв} = 0,7$ – частка теплоти тертя, відведена в воду / повітря;

– $a_{трм} = 0,3$ – частка теплоти тертя відводиться в масло;

(в сумі частки теплоти відведені в масло, воду, повітря повинні мати 100%);

– $a_{вТК} = 0$ – частка теплоти, що відводиться при охолодженні ТК у воду;

– $a_{мТК} = 1$ – частка теплоти, що відводиться при охолодженні ТК у масло;

(в сумі частки теплоти відведені в масло, воду, повітря повинні мати 100%);

– $a_{ввт} = 2 \text{ кВт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ – коефіцієнт тепловіддачі від стінки втулки до охолоджуючої рідини;

– $a_{вкр} = 3 \text{ кВт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ – коефіцієнт тепловіддачі від стінки кришки до охолоджуючої рідини;

– коефіцієнт тепловіддачі від металу до рідини лежить в межах: $a_w = 1 \dots 4 \text{ кВт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$;

– $a_{мпр} = 0,1 \text{ кВт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ – коефіцієнт тепловіддачі від стінок поршня до охолоджуючої рідини (у випадку, якщо поршень не охолоджує маслом, то даний коефіцієнт враховує відвід тепла від днища поршня у втулку через кільця). Для неоохолоджуваних поршнів лежить в межах $a_{мпр} = 0,05 \dots 0,15 \text{ кВт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$;

					КРМ.142.6221мз.06.02.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

– $a_{\text{wкар}} = 0,0000001 \text{ кВт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ – коефіцієнт тепловіддачі від діафрагми до картерних газів. В даному двигуні відсутній, але для розрахунку (щоб не було збою програми), задаймося, просто, дуже малою величиною даного коефіцієнта;

– $T_{\text{wвт}} = 353 \text{ К}$ – середня температура охолоджуючої рідини в сорочці;

– $T_{\text{wкр}} = 358 \text{ К}$ – середня температура охолоджуючої рідини в кришці;

– $T_{\text{мп}} = 363 \text{ К}$ – середня температура масла, охолоджуючого поршень;

– $T_{\text{wкар}} = 363 \text{ К}$ – Середня температура картерних газів.

– $a_{\text{вп.к}} = 0,01$ – $a_{\text{вп.к}} = 0 \dots 0,1$;

– $b_{\text{вп.к}} = 10 \text{ К}$ – $b_{\text{вп.к}} = 5 \dots 50 \text{ К}$.

(коефіцієнти, що використовуються для розрахунку температури стінки впускного колектора: звичайний колектор $T_{\text{ст}} = T_{\text{с}} + a_{\text{вп.к}} \cdot T_{\text{к}} + b_{\text{вп.к}}$; колектор, що примикає до випускної системи $T_{\text{ст}} = T_{\text{с}} + a_{\text{вп.к}} \cdot T_{\text{т}} + b_{\text{вп.к}}$);

– $d_{\text{э.вп}} = 0,04 \text{ м}$ – еквівалентний діаметр впускного колектора;

– $C_{\text{вп.возд}} = 0,6$ – поправочний множник у формулі для коефіцієнта тепловіддачі від повітря в стінки впускного колектора, лежить в межах $C_{\text{вп.возд}} = 0,2 \dots 1,2$;

– $d_{\text{э.вип}} = 0,045 \text{ м}$ – еквівалентний внутрішній діаметр випускного колектора;

– $\delta_{\text{ст.вип}} = 0,004 \text{ м}$ – товщина стінки випускного колектора;

– $\delta_{\text{из.вип}} = 0 \text{ м}$ – товщина шару ізоляції випускного колектора;

– $\lambda_{\text{ст.вип}} = 0,035 \text{ кВт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ – коефіцієнт теплопровідності стінки випускного колектора. Для матеріалів: сталь – $30 \dots 39 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$; чавуни – $30 \dots 55 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$;

– $\lambda_{\text{из.вип}} = 0,000005 \text{ кВт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ – коефіцієнт теплопровідності ізоляції випускного колектора. В дійсності відсутній, тому приведена дуже мала величина для коректності розрахунків;

– $R_{\text{ст.вип}} = 2,5(\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{кВт}$ – термічний опір шару забруднення на внутрішній поверхні випускного колектора. При шарі сажі: $0,25 \text{ мм}$ $R_{\text{ст}} = 4 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{кВт}$; 1 мм $R_{\text{ст}} = 16 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{кВт}$;

					КРМ.142.6221мз.06.02.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

– $C_{\text{вип.ог}} = 0,3$ – поправочний множник у формулі визначення коефіцієнта тепловіддачі від ВГ в стінки випускного колектора, $C_{\text{вип.ог}} = 0,2...1,2$ (по даним Грехова, Івіна);

– $a_{\text{вип}} = 0,05 \text{ кВт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ – коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої стінки випускного колектора до охолоджувального середовища (для повітря $a_{\text{вип}} = 0,05...0,15 \text{ кВт}/\text{м}^2 \cdot \text{К}$);

– $T_{\text{вип}} = 298 \text{ К}$ – температура охолоджуючої колектор середовища. В даному випадку – температура навколишнього середовища.

Параметри паливоподачі і фази газорозподілу

– $\varphi_{\text{н.впр}} = 350,5$ град. – кут початку впорскування першої порції палива, $\varphi_{\text{н.впр}} = 3...26$ градусів до ВМТ, обирається в залежності від паливної системи, типу двигуна і при умові м'якої роботи двигуна (P_z і T_z знаходяться в допускаємих межах);

– $\varphi_{\text{впр}} = 22,5$ град – тривалість уприскування першої порції палива, $\varphi_{\text{впр}}$ на деяких двигунах може досягати 40 градусів. Залежить від кількості палива і тиску при якому треба вприснути його в циліндр;

– $\delta q_{\text{ц1}} = 100 \%$ – частка циклової дози, що вводиться з першою порцією палива, залежить від кількості вприсків;

– $\varphi_{\text{о.вип}} = 485$ град – кут відкриття випускних органів;

– $\varphi_{\text{з.вип}} = 20$ град – кут закриття випускних органів;

– $\varphi_{\text{о.вп}} = 710$ град – кут відкриття впускних органів;

– $\varphi_{\text{з.вп}} = 195$ град – кут закриття впускних органів.

Кути відкриття і закриття клапанів взяті з двигуна-прототипу. В залежності від типу двигуна вони можуть дуже відрізнятись від даних.

– $\varphi_{\text{п.о.вп}} = 105$ град. – тривалість відкривання впускних органів;

– $\varphi_{\text{п.о.вип}} = 120$ град. – тривалість відкривання випускних органів;

– $\varphi_{\text{п.з.вп}} = 100$ град. – тривалість закривання впускних органів;

– $\varphi_{\text{п.з.вип}} = 120$ град. – тривалість закривання випускних органів.

					КРМ.142.6221мз.06.02.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Дані кути залежать від профілю кулачка і можуть сильно відрізнятись від даних для інших двигунів.

Параметри органів газорозподілу

- $D_{\text{вп.кл}} = 0,047$ м – зовнішній діаметр впускного клапана;
- $d_{\text{вп.кл}} = 0,043$ м – внутрішній діаметр сідла впускного клапана;
- $d_{\text{ст.вп}} = 0,01$ м – діаметр стрижня впускного клапана;
- $n_{\text{вп.кл}} = 1$ – кількість впускних клапанів;
- $D_{\text{вип.кл}} = 0,042$ м – зовнішній діаметр випускного клапана;
- $d_{\text{вип.кл}} = 0,038$ м – внутрішній діаметр сідла випускного клапана;
- $d_{\text{ст.вп}} = 0,01$ м – діаметр стрижня випускного клапана;
- $n_{\text{вип.кл}} = 1$ – кількість випускних клапанів;
- $b_{\text{вп.кл}} = 0,003$ м – довжина утворює сідла впускного клапана;
- $b_{\text{вип.кл}} = 0,003$ м – довжина утворює сідла випускного клапана;
- $h_{\text{кл.вп}} = 0,0115$ м – висота підйому впускного клапана;
- $h_{\text{кл.вип}} = 0,01$ м – висота підйому випускного клапана;
- $a_{\text{вп.кл}} = 45$ град – кут конуса тарілки впускного клапана;
- $a_{\text{вип.кл}} = 45$ град – кут конуса тарілки випускного клапана;
- $\mu_{\text{вп.кл}} = 0,664$ – коефіцієнт витрати впускних органів (мінімальне значення);
- $\mu_{\text{вип.кл}} = 0,699$ – коефіцієнт витрати випускних органів (мінімальне значення).

Параметри органів газорозподілу взяті з двигуна-прототипу. Деякі з них (висоти підйому і коефіцієнти витрати) рекомендовані – перераховуються в залежності від конструктивних розмірів клапанів.

Параметри, що визначають протікання процесу згоряння

- $g_C = 0,873$ – вміст вуглецю в паливі;
- $g_H = 0,127$ – вміст водню в паливі;
- $g_S = 0$ – вміст сірки в паливі;
- $g_O = 0$ – вміст кисню в паливі.

					КРМ.142.6221мз.06.02.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Параметри вище – масовий склад палива. Кожне паливо має різний склад. В даному розрахунку приведений найбільш частий, хоча і без вмісту сірки, яка в сучасний час в Україні досить поширена в дизельному паливі, хоча і незначній кількості.

– $Q_H = 42800$ кДж/кг – нижча теплота згоряння палива (залежить від масового складу палива);

– $E_a = 22500$ кДж/моль – умовна енергія активації ($E_a = 21500 \dots 25000$ чим більше E_a , тим довше період затримки запалення).

– $\tau_i = B_0 (1 - k_n n) \sqrt{\frac{T_{H,CF}}{P_{H,CF}}} e^{\frac{E_a}{RT_{H,CF}}}$ – формула Толстова, що визначає період затримки запалення.

– $B_0 = 3 \cdot 10^{-6}$
– $k_n = 1,8 \cdot 10^{-4}$ – коефіцієнти в формулі Толстова;

– $i_c = 5$ – кількість соплових отворів форсунки;

– $d_c = 0,00025$ м – діаметр соплових отворів форсунки;

(кількість соплових отворів і діаметр форсунки взяті з форсунки, встановленої на двигуні-прототипі);

– $E_c = 1,7$ – коефіцієнт у формулі середнього діаметра крапель;

– $A_{z,i} = 9$ – константа часу випаровування великих крапель ($a_{z,i} = A_{z,i} / (4 \dots 5)$ $a_{0,6}$ визначає тривалість згоряння);

– $\rho_T = 825$ кг/м³ – щільність палива при 20 °С;

– $\mu_T = 0,003$ Па·с – динамічна в'язкість палива;

– $\sigma_T = 0,028$ Н/м – коефіцієнт поверхневого натягу палива;

– $\mu_{\text{топл}} = 110$ г/моль – молярна маса палива.

(параметри, що характеризують фізичні властивості палива можна знайти в будь якому довіднику палив або горючих речовин);

– $a^{\text{впр}} = 11$

– $b^{\text{впр}} = 1,045$

– $c^{\text{впр}} = -1,896474044$ – розраховується автоматично в залежності від $a^{\text{впр}}$ і $b^{\text{впр}}$.

					КРМ.142.6221мз.06.02.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

$$- m^{\text{впр}}_1 = 1,54; m^{\text{впр}}_2 = 1,63; m^{\text{впр}}_3 = 9; m^{\text{впр}}_4 = 1,85.$$

Коефіцієнти функцій, апроксимуючих процес подачі палива, тобто визначає вид функцій $\sigma = \sigma(\varphi)$, $d\sigma / d\tau = d\sigma/d\tau(\varphi)$. Є коефіцієнтами двох параболічних кривих, сума яких дає необхідні залежності $\sigma = \sigma(\varphi)$, $d\sigma/d\tau = d\sigma/d\tau(\varphi)$.

– $m^{\text{пр}} = 0,5$ – ступінь в рівнянні поправочної функції враховує дійсні умови вприскування (у тому числі вплив вихрового руху повітря в кінці стиснення). $Y = (n/1000)^m$ ($m = 0,67 \dots 1$). Зі збільшенням Y зростає максимум dx/dt , координата максимуму зсувається до початку уприскування;

– $D_\phi = 3$ – коефіцієнт у формулі дальnobійності паливного факела;

– $L_{\text{ст}} = 0,038 \text{ м}$ – довжина вільного польоту факела. Визначається конструкцією двигуна;

– $A_{\text{ст}} = 0,0055$ – коефіцієнт у формулі кута конуса паливного факела;

– $\chi_0 = 0,65$ – мінімальна ступінь зниження швидкості випаровування палива на стінці камери згоряння;

$$- a_0 = 30000 \text{ м}^3/(\text{кг} \cdot \text{с}) - A_0 = a_0 H n_m; a_0 = 20000 \dots 100000;$$

$$- a_1 = 0,007 \text{ с} - A_1 = a_1 / (H n^m); a_1 = 0,05 \dots 0,075;$$

$$- a_2 = 15 \text{ м}^3/(\text{кг} \cdot \text{с}) - A_2 = a_2 H n^m; a_2 = 8 \dots 10;$$

Коефіцієнти рівняння тепловиділення на ділянці паливоподачі.

$$- m^{n2} = 0,5;$$

– $H = 1,25$ – вихрове число (відношення частоти обертання вихору в кінці стиснення до частоти обертання колінчастого валу;

– $b_0 = 0,01 - (0,05 \dots 0, 1)$ a_0 і b_0 визначають розрахункову швидкість тепловиділення при початковій спалаху палива;

– $\Delta\varphi_k = 0$ град – різниця між кутом закінчення розрахунку характеристик тепловиділення по рівняннях тепловиділення на ділянці паливоподачі і кутом закінчення паливоподачі (до якого плюсується $\Delta\tau_k$, що задається нижче). У більшості випадків Δj_k відповідає моменту закінчення уприскування палива. В особливих

					КРМ.142.6221мз.06.02.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

випадках (короткочасний уприскування, великий період затримки запалення) значення Δj_k вибирають більшим, ніж для моменту закінчення уприскування.

– $\Delta \tau_k = 0,25$ мс – час, протягом якого триває розрахунок характеристик тепловиділення по рівняннях для ділянки паливоподачі, що відраховується з моменту закінчення паливоподачі (для двигунів з об'ємним сумішоутворенням час від закінчення уприскування до початку догорання становить 0,2...0,5 мс; для двигунів з плівковим сумішоутворенням – 0,3...0,8 мс);

– $\xi_{BO} = 0,43$ – мінімум функції коефіцієнта використання повітряного заряду при згорянні. Залежить від способу сумішоутворення (для двигунів з КС ЦНІДІ доходить до 0,8; для КС типу Гессельман – 0,4...0,45, у тому числі залежить від вихрового числа заряду; чим вище ξ_{BO} , тим більше швидкість тепловиділення в пристіночній зоні розвитку струменя);

– $\Delta_T = 0,01$ – відносна величина недожога палива.

Параметри, що визначають зміну концентрації сажі

Коефіцієнти пропорційності; δ – частка маси краплі, яка перетворюється в сажовими ядро:

– $B_1 = 0,002$ – рекомендується $B_1 = 0,004$;

– $B_2' \delta = 0,00011$ – рекомендується $B_2' \delta = 1,7$;

– $B_2'' \delta = 0,0025$ – рекомендується $B_2'' \delta = 0,0028$;

– $B_3 = 0,000004$ – рекомендується $B_3 = 3,1 \cdot 10^{-6}$;

– $B_4 = 0,75$ – рекомендується $B_4 = 0,75$ (коефіцієнт, обліку швидкості зміни локальної концентрації сажі зі збільшенням обсягу, який враховує, що швидкість зміни локальної концентрації сажі зі збільшенням обсягу циліндра може бути менше швидкості зміни всього обсягу циліндра);

– $n_p = 3$ – константа розподілу, що характеризує однорідність розпилювання (рекомендується $n_p = 2 \dots 4$).

2.2. Розрахунок робочого циклу двигуна 4ЧН 11/12,5 за допомогою програмного комплексу Блиц-PRO

Після введення вхідних даних у програму Блиц-PRO (які приведені в кінцевому виді), виконуємо розрахунок. Результати розрахунків приведемо в табличному виді табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Результати розрахунків двигуна 4ЧН 11/12,5

№ з/п	Позн.	Один. вим.	Значення	Найм. параметру
1.	N_e	кВт	100,03	Ефективна потужність
2.	M_e	Н·м	398	Ефективний крутний момент
3.	$N_{e\text{ вн}}$	кВт	100,03	Ефективна потужність поршневої частини двигуна
4.	$N_{\text{нх}}$	кВт	-9,58	Потужність насосних ходів
5.	N_i	кВт	122,33	Індикаторна потужність потужність
6.	g_e	кг/(кВт·год)	0,228	Питома ефективна витрата палива
7.	g_i	кг/(кВт·год)	0,21865	Питома індикаторна витрата палива
8.	η_e	—	0,3688	Ефективний ККД
9.	η_i	—	0,4864	Індикаторний ККД
10.	η_m	—	0,7583	Механічний ККД
11.	Π_k	—	2,29964	Ступінь підвищення тиску в компресорі
12.	$\varphi_{\text{зг.}}$	град.	148,51	Тривалість видимого згоряння
13.	$\varphi_{\text{з.восп.}}$	град.	3,5	Кут затримки займання
14.	$\varphi_{\text{н.сгор.}}$	град.	354	Кут початку видимого згоряння
15.	$\varphi_{dX/d\varphi_{\text{max}}}$	град.	371,5	Кут, який відповідає піку на кривій тепло-виділення
16.	σ_3	—	0,01	Частка палива, що упорскнута за період затримки
17.	$\varphi_{\text{ст.}}$	град.	357	Момент досягнення факелом стінок КЗ
18.	$dp/d\varphi_{\text{max}}$	кПа/п.к.в.	335	Жорсткість горіння
19.	$p_{\text{вп}}$	бар	828	Середній тиск упорскування палива
20.	d_{32}	мкм	17	Розмір крапель пального в струмені
21.	P_z	кПа	13333,13	Максимальний тиск згоряння
22.	T_z	К	1816,53	Максимальна температура згоряння
23.	P_i	кПа	1287,32	Середній індикаторний тиск
24.	P_e	кПа	1052,66	Середній ефективний тиск
25.	$P_{\text{нх}}$	кПа	-100,85	Середній тиск насосних ходів
26.	P_s	кПа	225,42	Тиск повітря в ресивері
27.	T_s	К	347,73	Температура повітря в ресивері
28.	P_c	кПа	9622,01	Тиск суміші наприкінці стиснення
29.	T_c	К	1059,92	Температура суміші наприкінці стиснення
30.	T_b	К	1062,3	Температура газів у момент відкриття випускного клапана
31.	P_b	кПа	738,4	Тиск газів у момент відкриття випускного клапана
32.	T_t	К	829,4	Середня температура газів перед турбіною
33.	P_t	кПа	260,8	Середній тиск газів перед турбіною

34.	T_{zt}	К	735,8	Середня температура газів за турбіною
35.	T_{bc}	К	339,62	Температура повітря за ОНП
36.	P_{bc}	кПа	225,5	Тиск повітря за ОНП
37.	γ_r	—	0,018	Коефіцієнт залишкових газів
38.	T_r	К	666,4	Температура залишкових газів
39.	G	кг/с	0,18905	Витрата повітря крізь впускний клапан
40.	G_t	кг/с	0,19513	Витрата повітря крізь випускний клапан
41.	G_{t1}	кг/с	0,15576	Витрата газу через турбіну
42.	$G_{пер}$	кг/с	0,03947	Витрата газу через обхідний канал турбіни
43.	p_k	кПа	230	Тиск за компресором
44.	T_k	К	398,4847	Температура за компресором
45.	$\alpha_{гт}$	кВт/(м ² ·К)	0,61	Середній за цикл коефіцієнт тепловіддачі від газів до стінки поршня та кришки
46.	$\alpha_{г.вип.т}$	кВт/(м ² ·К)	3,063	Середній за цикл коефіцієнт тепловіддачі від газів до стінок випускного колектору
47.	$\alpha_{в.вп.т}$	кВт/(м ² ·К)	0,231	Середній за цикл коефіцієнт тепловіддачі від газів до стінок впускного колектору
48.	$T_{ст.вт}$	К	462,4	Середня температура вогневої поверхні втулки для робочого циліндра
49.	$T_{ст.вт.пк}$	К	371,1	Середня температура вогневої поверхні втулки для циліндра ППК
50.	$T_{ст.кр}$	К	616,6	Середня температура вогневої поверхні кришки
51.	$T_{ст.пор.оз.}$	К	972,2	Середня температура вогневої поверхні днища поршня
52.	$T_{ст.пор.охл}$	К	951,8	Середня температура охолоджуваної поверхні днища поршня
53.	$T_{ст.прк}$	К	600	Середня температура внутрішньої поверхні передкамери
54.	$T_{ст.вип.}$	К	825,6	Середня температура внутрішньої поверхні випускного колектора
55.	$T_{ст.вп.к}$	К	353,6	Температура стінки впускного колектора
56.	η_n	—	0,882	Коефіцієнт наповнення (віднесений до повного ходу поршня)
57.	ε'	—	16,78	Дійсний ступінь стиснення
58.	ΔTa	К	31,976	Підігрів повітряного заряду від стінок камери згоряння
59.	φ_a	—	1,0052	Коефіцієнт продувки
60.	α	—	2,1031	Коефіцієнт надлишку повітря
61.	$q_{ц}$	г	0,079208	Циклова доза палива
62.	$\eta_{а.к.}$	—	0,779416	Адіабатний ККД компресора
63.	η_{t1}	—	0,66366	Ефективний ККД турбіни ТК1, визначений за усередненими параметрами газу у випускному колекторі та середньою витратою
64.	k_{1imp}	—	0,99944441	«Загальний» коефіцієнт імпульсності турбіни ТК1 (відношення потужності турбіни з урахуванням імпульсності потоку до потужності, визначеної за усередненими па-

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

КРМ.142.6221мз.06.02.ПЗ

Аркуш

				раметрами)
65.	N_{ek}	кВт	19,596088	Потужність компресора
66.	N_{et}	кВт	19,6028	Потужність турбіни
67.	$r_{пов}$	%	36,547	Склад ВГ (у відсотках за об'ємом).
68.	r_{N2}		54,476	
69.	r_{CO2}		4,793	
70.	r_{CO}		0	
71.	r_{H2}		0	
72.	r_{H2O}		4,184	
73.	NO _x	%	0,254	Об'ємний вміст оксидів азоту в ВГ
74.		г/(кВт·год)	18,86	Питомий масовий вміст оксидів азоту в ВГ
75.		ppm	2543,456	Об'ємний вміст оксидів азоту в ВГ (часток на мільйон)
76.	[C]	г/м ³	0,018	Об'ємний вміст сажі в ВГ
77.		%	7,38	Вміст сажі в ВГ за шкалою Hartridge
78.		BOSCH	0,661199	Вміст сажі в ВГ за шкалою BOSCH

Зовнішній тепловий баланс ДВЗ

1.	Q_T	кВт	271,21	Тепло, підведене в цикл під час згоряння палива
2.	$Q_{н.с}$	кВт	0	Теплота, втрачена внаслідок неповноти згоряння
3.	N_e	кВт	100,03	Ефективна потужність двигуна
4.	$N_{к\Sigma}$	кВт	0	Сумарна потужність, що витрачається на привід механічних компресорів (без урахування механічних втрат на привід, що враховуються в сумарних механічних втратах)
5.	Q_G	кВт	95,69	Тепло, відведене з ВГ
6.	Q_{wto}	кВт	29,79	Тепло, що відводиться в охолоджувальну воду/повітря в результаті теплообміну
7.	Q_{wtp}	кВт	15,61	Тепло, що відводиться в охолоджувальну воду/повітря в результаті тертя
8.	$Q_{w\Sigma}$	кВт	44,75	Сумарна кількість теплоти, відведена в охолоджувальну воду/повітря
9.	Q_{mtp}	кВт	6,69	Кількість теплоти відведена в масло внаслідок тертя рухомих деталей
10.	$Q_{mтк}$	кВт	0,4	Тепло, що відводиться в масло під час охолодження турбокомпресора (ів)
11.	$Q_{m\Sigma}$	кВт	7,09	Сумарний тепловідвід у масло
12.	Q_{wOHV}	кВт	11,33	Кількість теплоти, відведена в ОНП
13.	$Q_{o.вип}$	кВт	5,23	Кількість тепла, відведене в стінки випускного колектора (у разі рідинного охолодження колектора дана теплота відводиться у воду; в іншому випадку - радірується в ОЗ)
14.	$Q_{п.вп}$	кВт	0,65	Кількість теплоти, що підведена до повіт-

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

KPM.142.6221мз.06.02.ПЗ

Аркуш

				ря від стінок ресивера (дану кількість теп- лоти віднімають від тепла, яке відводиться у воду для коректності балансу)
15.	Q_{Σ}	кВт	258,9	Сумарне значення

2.3. Висновок до розділу

У розділі було виконано моделювання номінального режиму роботи високо-
обертового дизельного двигуна 4ЧН 11/12,5 у програмному комплексі Блиц-PRO.
Всі отримані при моделюванні дані, які потребують контролю входять у допусти-
мі межі та відповідають роботі даного двигуна на номінальному режимі.

					<i>KPM.142.6221мз.06.02.ПЗ</i>	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3
МОДЕРНІЗАЦІЯ ПАЛИВНОЇ АПАРАТУРИ
АВТОМОБІЛЬНОГО ДВИГУНА 4ЧН 11/12,5

3.1. Основні вимоги до сучасних паливних систем дизелів

Функції паливних систем дизелів полягають, здебільшого, в такому: зберігання запасу палива, його підготовка (очищення від води і механічних домішок, підігрів або охолодження); подача циклової порції палива в циліндри на певній ділянці робочого циклу за заданим законом; дозування палива відповідно до режиму роботи двигуна; розподіл палива по камері згоряння відповідно до прийнятого способу сумішоутворення.

Вимоги до паливних систем, що конкретизують і доповнюють перераховані функції, формуються з необхідності забезпечення екологічних норм, планованих техніко-економічних показників дизелів, характеру протікання робочих процесів, досягнутого рівня показників різних паливних систем, забезпечення необхідних умов експлуатації. Нижче наведено основні вимоги до паливних систем:

- мінімальні вартість і маса, висока технологічність (у структурі вартості автомобільного дизеля ПА становить 25...40 %);
- стабільність показників подачі палива протягом усього терміну експлуатації (регулювання та обслуговування автомобільної форсунки повинні проводитися не частіше, ніж через 1000 год, ПНВТ – 3000 год);
- зручність обслуговування, ремонту, регулювання (наприклад, незручною є конструкція, що вимагає для виїмки форсунки зняття кришки газорозподілу або люка);
- забезпечення максимального ресурсу в межах ресурсу двигуна (ресурс ПА високооборотних дизелів становить 4...10 тис. год, малооборотних – 10...26 тис. год);
- забезпечення заданого тиску і характеристики впорскування, їх управління відповідно до режимів роботи;

					<i>KPM.142.6221мз.06.03.ПЗ</i>	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

– управління цикловою подачею і кутом випередження впорскування палива (КВВП) залежно від частоти, навантаження дизеля, тиску наддуву, параметрів до-вкільця, теплового стану двигуна тощо (точність витримування КВВП становить $\pm 0,5^\circ$);

– неприпустимість підвприскування і підтікання палива;

– мінімальна нерівномірність подачі палива по циліндрах (на номінальному режимі менше ніж 3...4 % і за циклами до 1%) або, навпаки, керована нерівномір-на подача індивідуально по кожному циліндру;

– мінімальний власний рівень шуму (менше 80 дБ на відстані 1 м) і зменшен-ня рівня шуму двигуна;

– забезпечення стійкої подачі палива на режимах малих навантажень, холос-того ходу, під час багатofазного впорскування ($g_{ц. min} / g_{ц. ном} < 1/10 \dots 1/50$);

– можливість прокачування системи для видалення повітряних пробок.

Додаткові вимоги до ПА автотракторних та вантажних дизелів:

– формування швидкісної характеристики ПА (коректорами, оптимізацією ПА, електронним регулюванням);

– забезпечення необхідних динамічних якостей двигуна на перехідних режи-мах роботи; прискорення перехідних процесів у самій ПА (управління залишко-вим тиском, створення ПА із залишковим тиском, що не залежить від режимів);

– вібростійкість і герметичність для попередження втрат палива і потраплян-ня в нього пилу, води і повітря;

– працездатність у широкому інтервалі температур повітря.

Цей перелік може розширюватися як стосовно до всієї ПА, так і конкретними вимогами до окремих її елементів.

3.2. Технічна реалізація модернізації паливної апаратури автомобільного двигуна 4ЧН 11/12,5

Для забезпечення покращення паливної економічності та екологічності авто-мобільного двигуна 4ЧН 11/12,5 пропонується модернізувати паливний насос ви-сокого тиску (ПНВТ). А саме розробити ПНВТ кожна секція якого містить по дві

					<i>KPM.142.6221мз.06.03.ПЗ</i>	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

плунжерні пари, які можуть застосовуватися, наприклад, із метою забезпечення попередньої та основної подачі чи з метою підвищення інтенсивності упорскування шляхом створення початкової швидкості палива в лінії високого тиску палива перед черговим циклом упорскування.

Застосування двоплунжерних паливних насосів високого тиску порівняно з одноплунжерними розширює можливості керування процесом подавання палива, наприклад, дає змогу змінювати інтервал між попереднім та основним подаванням завдяки виконанню наповнювальних отворів різних діаметрів та різному їх розміщенню за висотою. Величину циклової подачі регулюють традиційним способом за кінцем подачі, крім того, кожна секція незалежно одна від одної може бути відрегульована за геометричним початком подачі палива. Однак з метою управління моментом початку впорскування палива однією із секцій, а закінчення подачі – іншою секцією окремо від першої конструкція не забезпечує.

Необхідність здійснення управління моментом початку подачі не тільки залежно від частоти обертання, а й від навантаження дизеля змушує застосовувати спеціальні електронно-керовані муфти, або паливні насоси з двома рейками, або системи зі швидкодіючими клапанами акумуляторного типу, або з індивідуальними насосами високого тиску.

Однак кожна з названих систем має свої недоліки. Так електронно-керовані муфти, як правило, складні за конструкцією, мають велике найменування деталей і елементів, включно з іноді автономними гідро- або пневмосистемами. Прагнення обійтися без таких муфт привело дослідників до створення дворейкових паливних насосів високого тиску. Але суттєвим недоліком таких конструкцій є складність основного прецизійного механізму – рухомої в осьовому напрямку керованої втулки, що не дає змоги забезпечити належну жорсткість конструкції, її надійність. Однак наявна тенденція необхідності підвищення тиску палива, що нагнітається, призводить до збільшення і жорсткості, і надійності всіх конструкцій системи подачі палива.

Перерахованих недоліків можна уникнути, якщо застосувати двоплунжерний паливний насос високого тиску, що допускає роздільне керування початком і

					<i>KPM.142.6221мз.06.03.ПЗ</i>	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

кінцем впорскування. При регулюванні моменту початку подачі палива потрібно також враховувати одразу два чинника: частоту обертання колінчастого валу дизеля і навантаження (відсутність врахування таких чинників призводить до унеможливлення забезпечувати належну жорсткість і надійність під час нагнітання палива під підвищеним тиском до 150 МПа). Найпростіший шлях забезпечення регулювання моменту початку подачі палива з урахуванням двох факторів – це застосування електронного керування.

Отже, метою модернізації паливної апаратури автомобільного двигуна 4ЧН 11/12,5 є підвищення паливної економічності та екологічних показників за рахунок встановлення двоплунжерного ПНВТ з можливістю роздільного електронного керування моментом початку подавання пального і моментом закінчення.

Зазначена мета досягається тим, що паливний насос високого тиску автомобільного дизеля 4ЧН 11/12,5 додатково оснащено електромагнітними виконавчими пристроями, які мають електромагнітний зв'язок із керуючими рейками, а надплунжерні робочі порожнини кожної двоплунжерної насосної секції з'єднано між собою та через спільний нагнітальний клапан зв'язано з лінією високого тиску системи подавання пального, причому один з плунжерів кожної двоплунжерної насосної секції оснащено верхньою гвинтовою кромкою, а втулку, у якій встановлено інший плунжер, має збільшені габаритні розміри по осі кулачкового вала.

Однак двоплунжерний ПНВТ, обидва плунжери всіх секцій якого приводяться в дію від одного кулачкового вала, має збільшені габаритні розміри по осі кулачкового вала. Для покращення компоновання можна зробити конструкцію двоплунжерного насоса високого тиску автомобільного дизеля, який додатково оснащено кулачковим валом, кулачки якого стиковано зі штовхачами плунжерів, оснащених верхніми гвинтовими кромками, й обертання якого синхронізовано з обертанням іншого кулачкового валу, паралельно до цього.

Крім того, одним із недоліків двоплунжерних ПНВТ є підвищений залишковий об'єм надплунжерної робочої порожнини. Цього недоліку можна уникнути, якщо скомпонувати двоплунжерний ПНВТ таким чином, щоб обидва плунжери

					КРМ.142.6221мз.06.03.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

кожної насосної секції були розташовані з можливістю узгодженого переміщення уздовж однієї осі, а робочі порожнини з'єднані в одну. Таким чином, головна задача полягає в тому, щоб використати можливості конструкції двоплунжерного ПНВТ зберігати достатню для створення високого тиску жорсткість та надійність, а також можливість збільшити об'ємну швидкість нагнітання палива без збільшення швидкості переміщення плунжера.

У корпусі 1 ПНВТ розміщено двоплунжерні насосні секції 2 (рис. 3.1), які містять плунжер 3 (рис. 3.2), оснащений верхньою гвинтовою кромкою 4, плунжер 5, оснащений гвинтовою кромкою 6, кінематично з'єднані з керувальними рейками відповідно 7 і 8, причому плунжер 3 встановлений у втулці 9, яка має впускний отвір 10, а плунжер 5 – у втулці 11, яка має впускний отвір 12 і відсічний отвір 13.

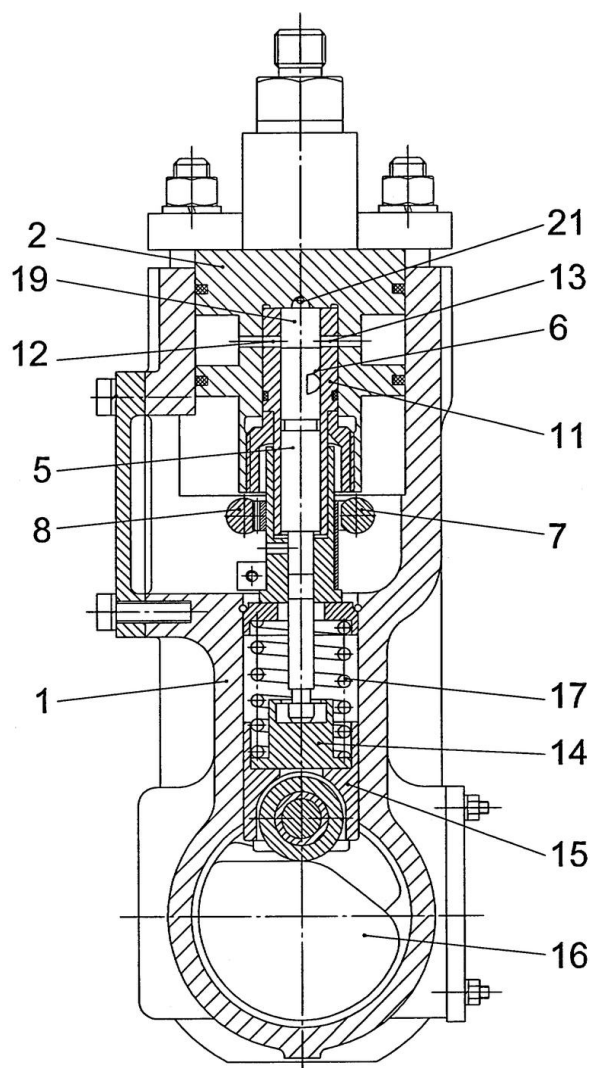


Рисунок 3.1 – розріз ПНВТ поперек осі обертання кулачкового вала

					КРМ.142.6221мз.06.03.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Плунжери 3 і 5 через проставки 14 і штовхачі 15 спираються на кулачки 16 кулачкового вала, причому штовхачі 15 для надійності контакту з профілем кулачків 16 підтиснуті пружинами 17. Надплунжерні робочі порожнини 18 і 19 з'єднані каналами 20 і 21 і закриті загальним нагнітальним клапаном 22.

У компонованні ПНВТ, оснащеному двома кулачковими валами 23, можливий варіант (рис. 3.3), коли плунжери 3 і 5 розташовані з можливістю переміщення уздовж однієї осі, а надплунжерні робочі порожнини об'єднані в одну – 24.

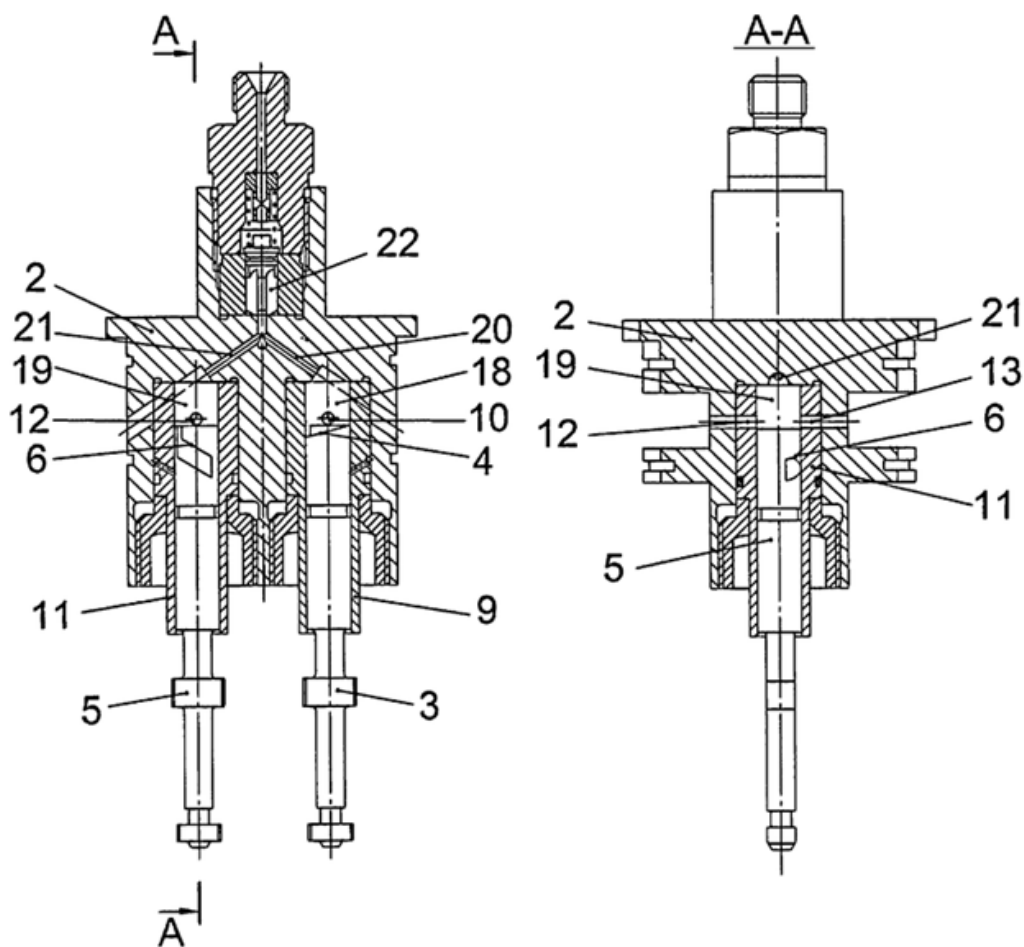


Рисунок 3.2 – Вид двоплунжерної робочої секції ПНВТ

Паливний насос високого тиску автомобільного дизеля 4ЧН 11/12,5 працює таким чином. Під час повороту кулачкового вала кулачок 16 (рис. 3.1) переміщує штовхач 15 і плунжер 5 вгору, стискаючи пружину 17. Одночасно з плунжером 5 переміщається плунжер 3. Розташування впускних отворів 10 і 12 (рис. 3.2) таке, що плунжер 5 першим перекриває впускний отвір 12, і паливе з надплунжерної порожнини 19, витіснене плунжером 5, перетікає через канали 21 і 20 і надплун-

жерну робочу порожнину 18 у впускний отвір 10 до моменту, коли останнє перекриється верхньою гвинтовою кромкою 4 плунжера 3.

Унаслідок подальшого переміщення плунжерів 3 і 5 вгору в надплунжерних робочих порожнинах 18 і 19, з'єднаних каналами 20 і 21, підвищиться тиск пального доти, доки зусилля, що розвивається від нього на нагнітальному клапані 22, не зрівняється із зусиллям попереднього затягування його пружини, клапан 22 відкривається і пальне нагнітається в лінію високого тиску доти, доки нижня гвинтова кромка 6 не відкриє відсічний отвір 13.

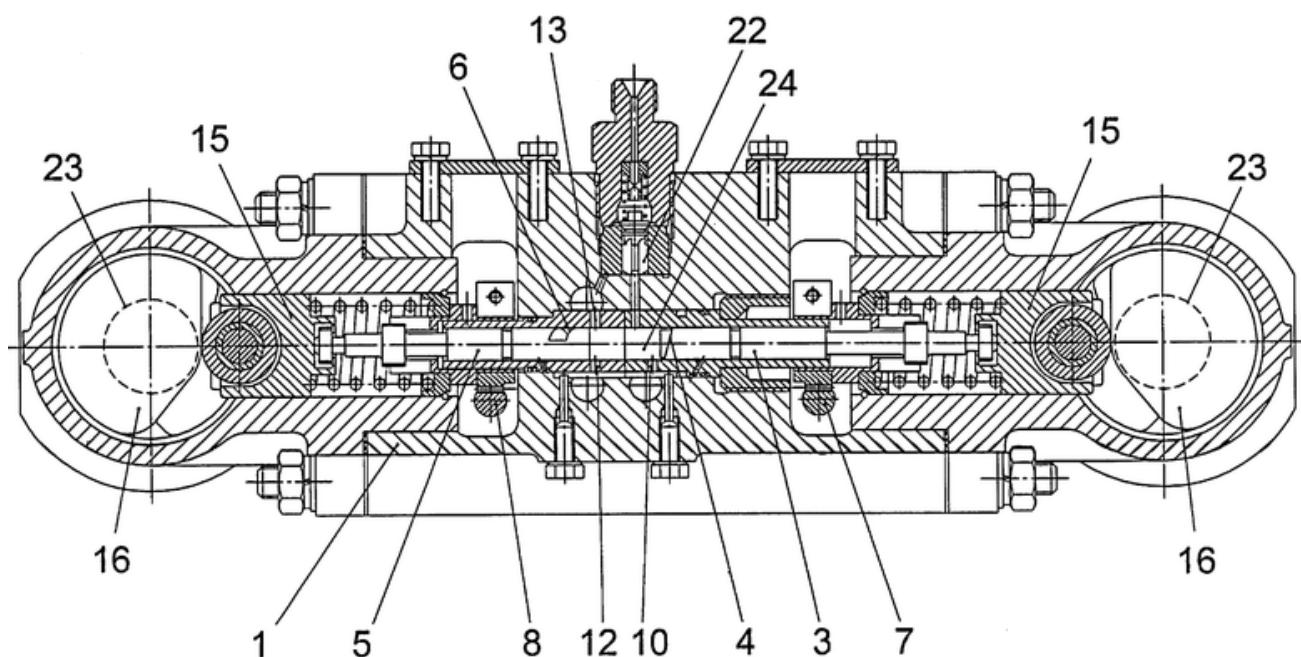


Рисунок 3.3 – Можливий варіант компонування ПНВТ із двома кулачковими валами

Тиск палива в надплунжерних робочих порожнинах 18 і 19 і сполучних каналах 20 і 21 різко знижується і нагнітальний клапан 22 закривається. Таким чином, момент початку подачі палива визначається моментом перекриття отвору 10 верхньою гвинтовою кромкою 4 плунжера 3, а момент закінчення подачі палива (тобто відсічення) визначається фактом відкриття отвору 13 у втулці 11 нижньою гвинтовою кромкою 6 плунжера 5, причому управління моментом початку подачі палива здійснюється шляхом повороту плунжера 3 керуючою рейкою 7, яку приводить у дію один з електромагнітів за командою електронної системи управління

на підставі інформації про частоту обертання колінчастого валу дизеля та про навантаження. Керування моментом відсічення (а отже, величиною циклової подачі) палива здійснюється шляхом повороту плунжера 5, оснащеного нижньою гвинтовою кромкою 6, керуючою рейкою 8, що приводиться в дію іншим електромагнітом.

Керування початком і закінченням паливоподачі в конструкціях, оснащених двома кулачковими валами, здійснюється аналогічно описаному. Наприклад, процес початку нагнітання палива почнеться після перекриття впускного отвору 10 (рис. 3.3) верхньою гвинтовою кромкою 4 плунжера 3 (попередньо перекривається отвір 12 плунжером 5), причому обидва плунжери і 3, і 5 рухаються назустріч один одному під впливом кулачків 16 кулачкових валів 23, кінематично пов'язаних між собою, що приводяться в обертання з однаковою кутовою швидкістю від колінчастого валу дизеля. При цьому тиск палива в загальній надплунжерній робочій порожнині 24 зростає настільки, щоб відкрився нагнітальний клапан 22. Керування зміною моменту початку подачі і моментом закінчення подачі здійснюється за допомогою керуючих рейок 7 і 8 аналогічно описаному вище.

3.3. Оцінка ефективності застосування модернізованого ПНВТ на двигуні 4ЧН 11/12,5 за допомогою програмного комплексу Блиц-Про

Програмний комплекс розрахунку робочого циклу Блиц-Про, який розроблено на кафедрі ДВЗ, У та ТЕ, НУК ім. адм. Макарова під керівництвом Д. С. Мінчева, реалізована в середовищі *Microsoft Excel* з використанням програмного забезпечення *Visual Basic*.

Програмний комплекс Блиц-Про вміщує у собі декілька методик розрахунку, надає змогу моделювати цикл різних типів двигунів на основі одного з трьох параметрів, розраховувати двигуни з урахуванням реальних характеристики компресорів наддуву, реалізовувати розрахунки теплових навантажень на елементи двигуна.

Вихідні дані для виконання оцінки ефективності застосування модернізованого ПНВТ на двигуні 4ЧН 11/12,5 за допомогою програмного комплексу Блиц-

					КРМ.142.6221мз.06.03.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Про обираються з другого розділу. Після введення даних у програмний комплекс Блиц-PRO, виконуємо розрахунок, а результати розрахунків приведемо в табличному виді – табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Результати розрахунків двигуна 4ЧН 11/12,5 при використанні ПНВТ з двоплунжерними робочими секціями

№ з/п	Позн.	Один. вим.	Значення	Найм. параметру
1.	N_e	кВт	100,01	Ефективна потужність
2.	M_e	Н·м	398	Ефективний крутний момент
3.	$N_{e\text{ вн}}$	кВт	100,01	Ефективна потужність поршневої частини двигуна
4.	$N_{\text{нх}}$	кВт	-9,579	Потужність насосних ходів
5.	N_i	кВт	122,31	Індикаторна потужність потужність
6.	g_e	кг/(кВт·год)	0,223	Питома ефективна витрата палива
7.	g_i	кг/(кВт·год)	0,21361	Питома індикаторна витрата палива
8.	η_e	–	0,3780	Ефективний ККД
9.	η_i	–	0,4985	Індикаторний ККД
10.	η_m	–	0,7583	Механічний ККД
11.	P_k	–	2,299	Ступінь підвищення тиску в компресорі
12.	$\varphi_{\text{зг.}}$	град.	164,06	Тривалість видимого згоряння
13.	$\varphi_{\text{з.восп.}}$	град.	3	Кут затримки займання
14.	$\varphi_{\text{н.сгор.}}$	град.	353	Кут початку видимого згоряння
15.	$\varphi_{dX/d\varphi_{\text{max}}}$	град.	372,5	Кут, який відповідає піку на кривій тепловиділення
16.	σ_3	–	0,01	Частка палива, що упорскнута за період затримки
17.	$\varphi_{\text{ст.}}$	град.	356	Момент досягнення факелом стінок КЗ
18.	$dp/d\varphi_{\text{max}}$	кПа/п.к.в.	323	Жорсткість горіння
19.	$p_{\text{вп}}$	бар	1025	Середній тиск упорскування палива
20.	d_{32}	мкм	16,5	Розмір крапель пального в струмені
21.	P_z	кПа	13195,13	Максимальний тиск згоряння
22.	T_z	К	1690,72	Максимальна температура згоряння
23.	P_i	кПа	1291,42	Середній індикаторний тиск
24.	P_e	кПа	1058,67	Середній ефективний тиск
25.	$P_{\text{нх}}$	кПа	-100,61	Середній тиск насосних ходів
26.	P_s	кПа	227,82	Тиск повітря в ресивері
27.	T_s	К	338,41	Температура повітря в ресивері
28.	P_c	кПа	9832,05	Тиск суміші наприкінці стиснення
29.	T_c	К	1027,54	Температура суміші наприкінці стиснення
30.	T_b	К	1037,1	Температура газів у момент відкриття випускного клапана
31.	P_b	кПа	789,9	Тиск газів у момент відкриття випускного клапана

32.	T_t	К	802,9	Середня температура газів перед турбіною
33.	P_t	кПа	257,4	Середній тиск газів перед турбіною
34.	T_{3t}	К	742,1	Середня температура газів за турбіною
35.	$T_{вс}$	К	330,42	Температура повітря за ОНП
36.	$P_{вс}$	кПа	228,0	Тиск повітря за ОНП
37.	γ_r	—	0,015	Коефіцієнт залишкових газів
38.	T_r	К	616,2	Температура залишкових газів
39.	G	кг/с	0,18715	Витрата повітря крізь впускний клапан
40.	G_t	кг/с	0,19714	Витрата повітря крізь випускний клапан
41.	G_{t1}	кг/с	0,15771	Витрата газу через турбіну
42.	$G_{пер}$	кг/с	0,03943	Витрата газу через обхідний канал турбіни
43.	p_k	кПа	230	Тиск за компресором
44.	T_k	К	400,119	Температура за компресором
45.	$\alpha_{гт}$	кВт/(м ² ·К)	0,488	Середній за цикл коефіцієнт тепловіддачі від газів до стінки поршня та кришки
46.	$\alpha_{г.вип.т}$	кВт/(м ² ·К)	2,313	Середній за цикл коефіцієнт тепловіддачі від газів до стінок випускного колектору
47.	$\alpha_{в.вип.т}$	кВт/(м ² ·К)	0,238	Середній за цикл коефіцієнт тепловіддачі від газів до стінок впускного колектору
48.	$T_{ст.вт}$	К	434,0	Середня температура вогневої поверхні втулки для робочого циліндра
49.	$T_{ст.вт.пк}$	К	365,2	Середня температура вогневої поверхні втулки для циліндра ППК
50.	$T_{ст.кр}$	К	606,2	Середня температура вогневої поверхні кришки
51.	$T_{ст.пор.ог.}$	К	952,8	Середня температура вогневої поверхні днища поршня
52.	$T_{ст.пор.охл}$	К	948,6	Середня температура охолоджуваної поверхні днища поршня
53.	$T_{ст.прк}$	К	600	Середня температура внутрішньої поверхні передкамери
54.	$T_{ст.вип.}$	К	789,1	Середня температура внутрішньої поверхні випускного колектора
55.	$T_{ст.вп.к}$	К	344,4	Температура стінки впускного колектора
56.	η_n	—	0,89	Коефіцієнт наповнення (віднесений до повного ходу поршня)
57.	ε'	—	16,78	Дійсний ступінь стиснення
58.	ΔTa	К	28,872	Підігрів повітряного заряду від стінок камери згоряння
59.	φ_a	—	1,0023	Коефіцієнт продувки
60.	α	—	2,1639	Коефіцієнт надлишку повітря
61.	$q_{ц}$	г	0,077508	Циклова доза палива

62.	$\eta_{a.k.}$	—	0,77981	Адіабатний ККД компресора
63.	η_{t1}	—	0,66524	Ефективний ККД турбіни ТК1, визначений за усередненими параметрами газу у випускному колекторі та середньою витратою
64.	k_{1imp}	—	1,001340	«Загальний» коефіцієнт імпульсності турбіни ТК1 (відношення потужності турбіни з урахуванням імпульсності потоку до потужності, визначеної за усередненими параметрами)
65.	N_{ek}	кВт	19,687	Потужність компресора
66.	N_{et}	кВт	19,635	Потужність турбіни
67.	$r_{пов}$	%	37,225	Склад ВГ (у відсотках за об'ємом).
68.	r_{N2}		54,109	
69.	r_{CO2}		4,627	
70.	r_{CO}		0	
71.	r_{H2}		0	
72.	r_{H2O}		4,039	
73.	NO _x	%	0,237	Об'ємний вміст оксидів азоту в ВГ
74.		г/(кВт·год)	16,66	Питомий масовий вміст оксидів азоту в ВГ
75.		ppm	2365,826	Об'ємний вміст оксидів азоту в ВГ (часток на мільйон)
76.	[C]	г/м ³	0,012	Об'ємний вміст сажі в ВГ
77.		%	4,99	Вміст сажі в ВГ за шкалою Hartridge
78.		BOSCH	0,44921	Вміст сажі в ВГ за шкалою BOSCH

Зовнішній тепловий баланс ДВЗ

1.	Q_T	кВт	264,5821	Тепло, підведене в цикл під час згоряння палива
2.	$Q_{н.с}$	кВт	0	Теплота, втрачена внаслідок неповноти згоряння
3.	N_e	кВт	100,01	Ефективна потужність двигуна
4.	$N_{к\Sigma}$	кВт	0	Сумарна потужність, що витрачається на привід механічних компресорів (без урахування механічних втрат на привід, що враховуються в сумарних механічних втратах)
5.	$Q_{Г}$	кВт	91,32	Тепло, відведене з ВГ
6.	Q_{wto}	кВт	28,99	Тепло, що відводиться в охолоджувальну воду/повітря в результаті теплообміну
7.	Q_{wtp}	кВт	15,75	Тепло, що відводиться в охолоджувальну воду/повітря в результаті тертя
8.	$Q_{w\Sigma}$	кВт		Сумарна кількість теплоти, відведена в охолоджувальну воду/повітря
9.	Q_{mtp}	кВт	44,48	Кількість теплоти відведена в масло внаслідок тертя рухомих деталей

10.	Q_{mTK}	кВт	6,58	Тепло, що відводиться в масло під час охолодження турбокомпресора (ів)
11.	$Q_{m\Sigma}$	кВт	0,41	Сумарний тепловідвід у масло
12.	Q_{wOHB}	кВт	7,1	Кількість теплоти, відведена в ОНП
13.	$Q_{o.вип}$	кВт	11,38	Кількість тепла, відведене в стінки випускного колектора (у разі рідинного охолодження колектора дана теплота відводиться у воду; в іншому випадку - радірується в ОЗ)
14.	$Q_{п.вп}$	кВт	5,16	Кількість теплоти, що підведена до повітря від стінок ресивера (дану кількість теплоти віднімають від тепла, яке відводиться у воду для коректності балансу)
15.	Q_{Σ}	кВт	260,26	Сумарне значення

На рис. 3.4 представлена зміна тиску та температури у робочому циліндрі двигуна 4ЧН 11/12,5 в залежності від кута повороту колінчастого валу за умов використання нового паливного насоса високого тиску з двоплунжерними робочими секціями, а на рис. 3.4 – характеристика тепловиділення при згорянні.

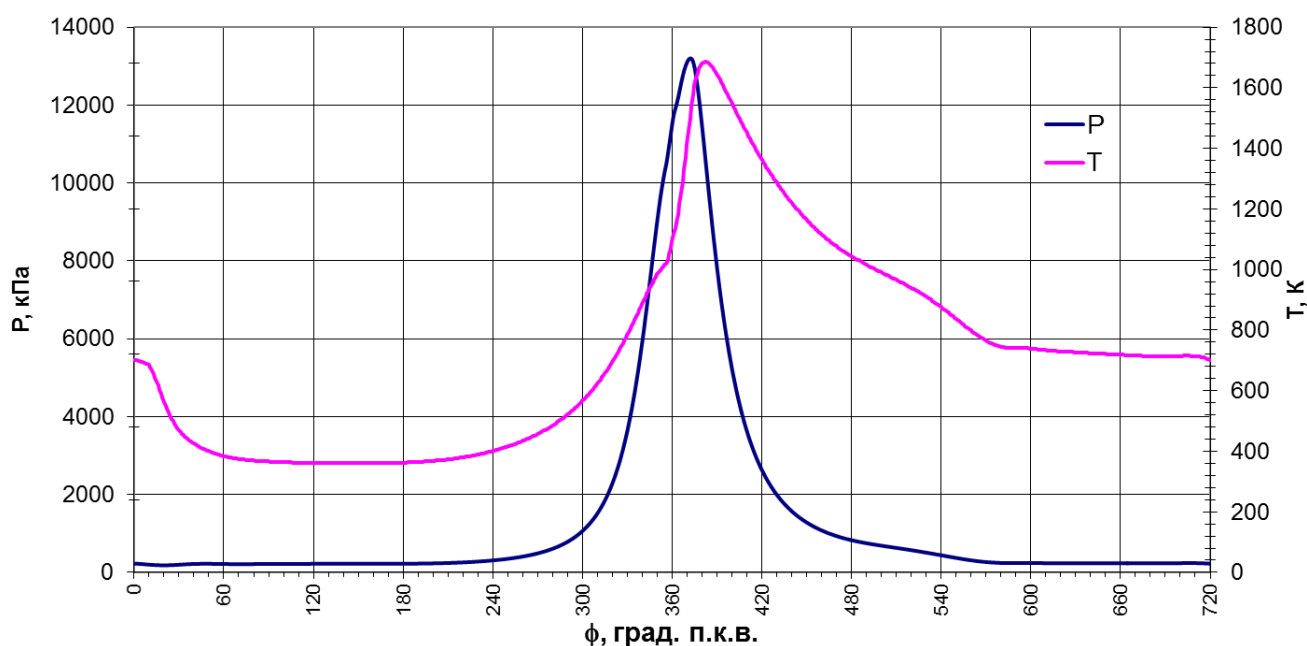


Рисунок 3.4 – Індикаторна двигуна 4ЧН 11/12,5 при використанні ПНВТ з двоплунжерними робочими секціями

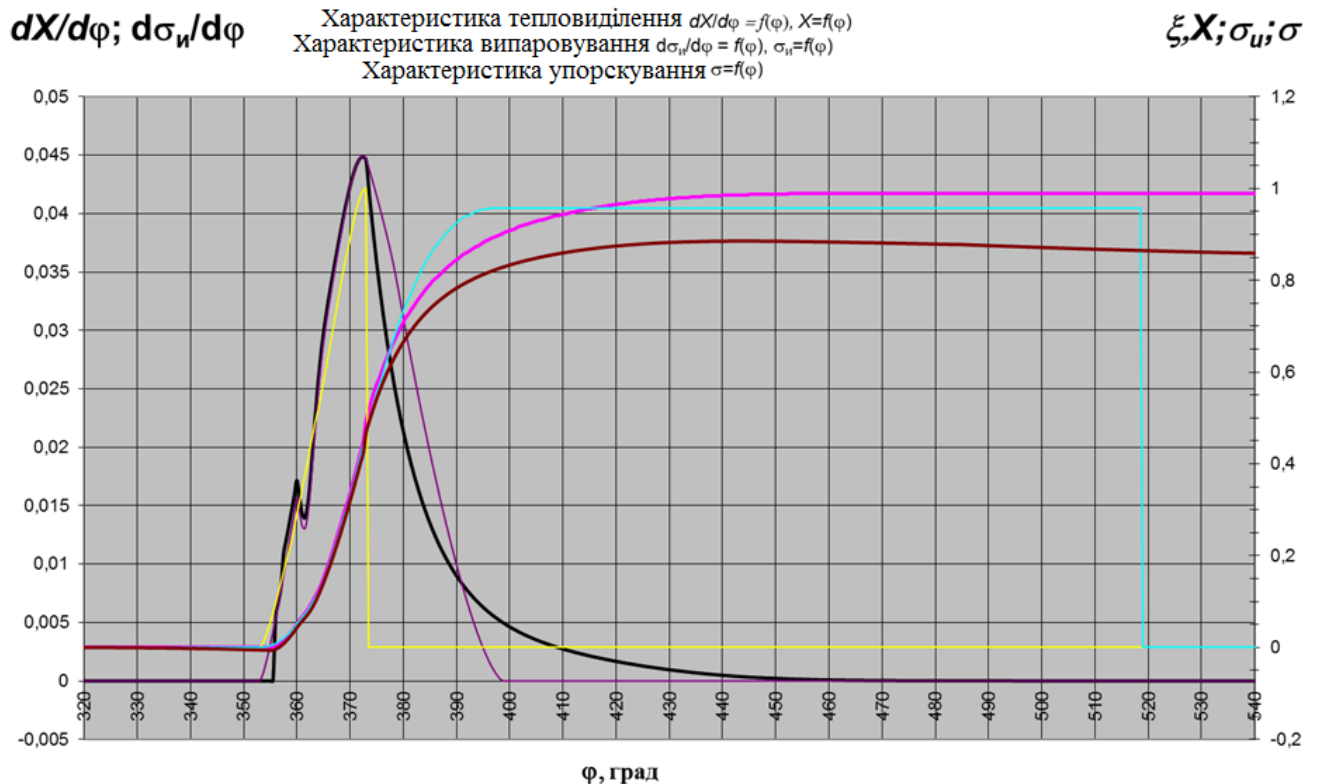


Рисунок 3.5 – Характеристики тепловиділення при використанні ПНВТ з двоплунжерними робочими секціями

3.4. Розрахунок деталей паливного насоса високого тиску з двоплунжерними робочими секціями

Модернізований у розділі ПНВТ, автомобільного двигуна 4ЧН 11/12,5, має значні конструктивні відмінності від своєї базової версії. Тому необхідним є виконання розрахунків його основних елементів конструкції. Розрахунок виконується у табличній формі та наводиться у табл. 3.2 – 3.6.

Вихідні дані для початку розрахунків

Потужність двигуна	$N_e = 100$ кВт
Питома ефективна витрата дизельного палива	$g_e = 223$ г/(кВт·год)
Частота обертання	$n = 2400$ об/хв
Кількість циліндрів	$i = 4$
Коефіцієнт тактності двигуна	$z = 0,5$
Максимальний тиск згоряння	$P_z = 132$ кг/см ²
Тривалість паливоподачі	$\varphi_{пп} = 20$ град п.к.в.

Тиск у точці с

$$P_c = 98,3 \text{ кг/см}^2$$

Визначення діаметру та ходу плунжера ПНВТ

$$\text{Циклова подача палива} - V_{\text{ц}} = \frac{Ne_{\text{ц}} \cdot g_e \cdot K}{60 \cdot n \cdot z \cdot \gamma_m} = 0,103 \text{ см}^3/\text{цикл}$$

де $\gamma_m = 825 \text{ кг/м}^3$; коефіцієнт запасу $K = 1,1$.

Об'єм який описує плунжер при русі від ВМТ до НМТ

$$V_{\text{п}} = K_2 \cdot V_{\text{ц}} = \frac{\pi \cdot d_{\text{п}}^2}{4} \cdot S_{\text{п}} = 0,826 \text{ см}^3$$

де $K_2 = 4 \dots 8$ – коефіцієнт перевищення об'єму, який описує плунжер, над максимальною цикловою подачею палива на суму об'ємів: стиснення палива в надплунжерній об'ємі і в лінії високого тиску, деформації паливопроводу високого тиску, об'єму який описує плунжер при перекритті наповнювальних отворів, при розгоні і гасінні швидкості плунжера. Приймаємо $K_2 = 8$.

$$\text{Відповідно до стандартів } \frac{S_{\text{п}}}{d_{\text{п}}} = 1 \dots 1,5. \text{ Приймаємо } S_{\text{п}} = 1,5 \cdot d_{\text{п}}$$

$$\text{Діаметр плунжера } d_{\text{п}} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V_{\text{п}}}{1,3 \cdot \pi}} = 9 \text{ мм.}$$

Хід плунжера $S_{\text{п}} = 9 \text{ мм.}$

$$\text{Площа плунжеру } F_{\text{пл}} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 68,17901 \text{ мм}^2.$$

Таблиця 3.2 – Розрахунок пружини плунжера ПНВТ

№ з/п	Позначення	Спосіб визначення або вибору	Значення	Найменування
1.	D_o , мм	—	26	Середній діаметр пружини
2.	$d_{\text{пр}}$, мм	—	5,5	Діаметр проволочки
3.	f_o , мм	—	8	Попередня затяжка пружини плунжера
4.	Δn , мм	—	4	Зазор між витками пружини в стислому стані
5.	τ_o , МПа	—	450	Допустима напружка від крутіння
6.	K	—	1,2	Коефіцієнт
7.	G , МПа	—	82500	Модуль пружності зсуву

					КРМ.142.6221мз.06.03.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

8.	$P_{max}, \text{Н}$	$P_{nmax} = \frac{\pi \cdot d_{np}^3 \cdot \tau_0 \cdot 10^6}{8 \cdot D_0}$	1130,23	Максимально допустиме навантаження на пружину
9.	$K_{ж1}, \text{Н/м}$	$K_{ж1} = \frac{G \cdot d_{np}^4}{8 \cdot D_0^3}$	536902	Жорсткість одного витка пружини
10.	$f_{max}, \text{мм}$	$f_{max} = f_0 + S_{\Pi}$	17	Повна деформація пружини
11.	i_{pp}	$i_{pp} = \frac{f_{max} \cdot K_{ж1}}{P_{nmax}} =$	8,22 (8)	Кількість робочих витків пружини
12.	$K_{ж}, \text{Н/м}$	$K_{ж} = \frac{K_{ж1}}{i_{pp}} =$	67112,7	Жорсткість пружини
13.	$f_w, \text{м}$	$f_w = f_0 + S_w$	0,0151	Деформація пружини в момент коли прискорення плунжера стає негативним
14.	$P_{пw}, \text{Н}$	$P_{пw} = f_w \cdot K_{ж}$	1012,57	Сила пружини коли прискорення плунжера стає негативним
15.	$P_{и}, \text{Н}$	$P_{и} = m/W_0$	771,405	Сила інерції деталей приводу плунжера, які рухаються зворотно-поступально, в момент, коли прискорення стає негативним
16.	K	$K = \frac{P_{nw}}{Pu} > 1,2$	1,313	Коефіцієнт перевищення силою пружини, сили інерції деталей, які рухаються зворотно-поступально
17.	$L_{пр}, \text{мм}$	$L_{пр} = (d_{пр} + \Delta n) \cdot i_p + f_{max} + i \cdot d_{пр}$	102,7	Довжина пружини у вільному стані
18.	$t, \text{мм}$	$t = d_{np} + \frac{f_{max}}{i_p} + \Delta n$	11,665	Крок витків пружини
19.	C'	$C' = \frac{D_0}{d_{np}}$	4,7273	Індекс пружини
20.	K_n	$K_n = \frac{4 \cdot C' - 1}{4 \cdot C' - 4} + \frac{0,615}{C'}$	1,33	Поправочний коефіцієнт розподілу крутіння по окружності перерізу витка, а також напруги зрізу
21.	$P_{nmax}, \text{Н}$	$P_{nmax} = f_{max} \cdot K_{ж}$	1162,36	Максимальна сила пружини
22.	$\tau_{max}, \text{МПа}$	$\tau_{max} = \frac{8 \cdot K_n \cdot P_{nmax} \cdot D_0}{\pi \cdot d_{np}^3}$	616,12	Максимальна напруга в пружині від згинання та кручення
23.	$P_{но}, \text{МПа}$	$P_{но} = f_0 \cdot K_{ж}$	536,9	Мінімальна сила пружини
24.	$\tau_{min}, \text{МПа}$	$\tau_{min} = \frac{8 \cdot K_n \cdot P_{но} \cdot D_0}{\pi \cdot d_{np}^3}$	284,591	Мінімальна напруга в пружині від згинання та кручення
25.	$\tau_m, \text{МПа}$	$\tau_m = \frac{\tau_{max} + \tau_{min}}{2}$	450,356	Середня напруга циклу

26.	τ_a , МПа	$\tau_a = \frac{\tau_{max} - \tau_{min}}{2}$	165,765	Амплітуда напруги циклу
27.	n	$n = \frac{1}{\frac{\tau_m}{\tau_s} + \gamma_\tau \cdot \frac{\tau_a}{\tau_{-1}}}$	1,2413	Запас міцності (для сталі 50 ХФА межа тікучесті $\tau_s = 950$ МПа, межа витривалості $\tau_1 = 500$ МПа)
28.	n_c , ХВ ⁻¹ ; $\frac{n_c}{n_k}$	$n_c = 2,17 \cdot 10^7 \frac{d_{np}}{i_p \cdot D_0^2}$; $\frac{n_c}{n_k} = 18,4 > 10$	22069,2; 18,4	Перевірка пружини на резонанс

Таблиця 3.3 – Розрахунок кулачка приводу плунжера ПНВТ

№ з/п	Позначення	Спосіб визначення або вибору	Значення	Найменування
1.	P , МН	$P = P_T + P_{II} + P_{II}$	0,00159	Сила діюча по осі плунжера
2.	P_T , МН	$P_T = p_{max} \cdot F_{II}$	$1,8 \cdot 10^{-5}$	Сила від тиску палива в надплунжерному об'ємі
3.	P_{II} , МН	$P_{II} = (f_0 + S) \cdot K_{ж} \cdot 10^{-6}$	0,00116	Сила пружини
4.	P_{II} , МН	$P_{II} = m \cdot W \cdot 10^{-6}$	0,00041	Сила інерції деталей приводу плунжера, які рухаються зворотно-поступально
5.	ϖ_k , с ⁻¹	$\varpi_k = \frac{\pi \cdot n_k}{30}$	125,6	Кутова швидкість кулачка
6.	X , м	$X = R_0 + \rho + S$	0,06223	Відстань
7.	δ , град	$\delta = \arctan\left(\frac{C}{X \cdot \varpi_k}\right)$	19,07	Кут тиску δ в момент коли досягається $P_t \max$
8.	N , МН	$N = \frac{P}{\cos \delta}$	0,0017	Сила, що передається роликом на кулачек
9.	Σ , МПа	$\sigma = 0,418 \sqrt{\frac{N \cdot E}{b} \cdot \left(\frac{1}{\rho} + \frac{1}{R}\right)}$	470,622	Контактна напруга ($470,622 < \sigma_d = [1200 \dots 2000]$ МПа)

Таблиця 3.4 – Розрахунок кулачкового вала

№ з/п	Позначення	Спосіб визначення або вибору	Значення	Найменування
1.	W_{32} , м ³	$W_{32} = \frac{\pi \cdot (d_B^4 - d_0^4)}{32 \cdot d_B}$	$6,9 \cdot 10^{-5}$	Момент опору згинанню
2.	M_{32} , МН·м	$M_{32} = \frac{N_{MAX} \cdot a \cdot b_B}{l}$	0,00014	Згинаючий момент
3.	σ_{32} , МПа	$\sigma_{32} = \frac{M_{32}}{W_{32}}$	2,0401	Напруга згинання

4.	$M_k, \text{МН} \cdot \text{м}$	—	$3,0 \cdot 10^{-5}$	Максимальний крутний момент на кулачку паливного насосу
5.	$W_k, \text{м}^3$	$W_k = 2 \cdot W_{\text{и}}$	0,000137	Момент опору крученню
6.	$\tau, \text{МПа}$	$\tau = \frac{M_{\text{KMAX}}}{W_K}$	0,248	Напряга кручення
7.	$\sigma_{\text{II}}, \text{МПа}$	$\sigma_{\text{II}} = \sqrt{(\sigma_{\text{II}} + 4 \cdot \tau^2)}$	1,51	Сумарна наведена напруга, що виникає в кулачковому валі від спільної дії згинального і скручуючого моментів, яке визначається по третій теорії міцності (значення сумарної напруги не перевищує допустимого значення в 150 МПа)
8.	$I, \text{м}^4$	$I = \frac{\pi \cdot (d_B^4 - d_0^4)}{64}$	$3,1 \cdot 10^{-6}$	Момент інерції поперечного перерізу кулачкового валу
9.	$Y, \text{мм}$	$Y = \frac{N_{\text{MAX}} \cdot l^3}{48 \cdot E \cdot I}$	$1,9 \cdot 10^{-6}$	Прогин прольоту кулачкового валу (прогин прольоту кулачкового валу не перевищує 1% від ходу плунжера)
11.	$I_{\text{п}}, \text{м}^4$	$I_{\text{п}} = 2 \cdot I$	$6,19 \cdot 10^{-6}$	Полярний момент інерції поперечного перерізу кулачкового валу
12.	$G, \text{МПа}$	—	81500	Модуль пружності зсуву для сталі
13.	$\varphi_3, \text{град}$	$\varphi_3 = \frac{M_{\text{KMAX}} \cdot L}{G \cdot I_{\text{п}}} \cdot \frac{180}{\pi}$	0,67	Кут закрутки в градусах повороту кулачкового валу (кут закрутки кулачкового валу не перевищує допустимого $[\varphi_3] = 1, \text{град п.к.в.}$)

Таблиця 3.5 – Розрахунок штовхача

№ з/п	Позначення	Спосіб визначення або вибору	Значення	Найменування
1.	$\sigma_{\text{II}}, \text{МПа}$	$\sigma_{\text{II}} = N_{\text{MAX}} \cdot \frac{l_{\text{п}} + 2 \cdot l_B - 1,5 \cdot b}{1,2 \cdot (1 - \alpha^4) \cdot d_{\text{пн}}^3}$	2,33	Напруження вигину осі штовхача
2.	$\tau_K, \text{МПа}$	$\tau_K = \frac{0,85 \cdot N_{\text{MAX}} \cdot (1 + \alpha + \alpha^2)}{(1 - \alpha^4) \cdot d_{\text{пн}}^2}$	1,283	Дотичні напруження зрізу в перетинах осі штовхача (дотичні напруження зрізу в перетинах осі штовхача не перевищують допустимих значень $[\sigma] = 65 \text{ МПа}$)

3.	K_o , МПа	$K_o = \frac{N_{MAX}}{2 \cdot d_{ПН} \cdot l_0}$	1,474	Питома навантаження в опорах (питоме навантаження в опорах не перевищує допустиме значення $[K_o] = 60$ МПа)
4.	$K_{\text{вв}}$, МПа	$K_{\text{вв}} = \frac{N_{MAX}}{2 \cdot d_{ПН} \cdot b}$	0,737	Питоме навантаження на внутрішні поверхні втулки (питоме навантаження на внутрішній поверхні втулки не перевищує допустиме значення $[K_{\text{вв}}] = 70$ МПа)
5.	$K_{\text{вн}}$, МПа	$K_{\text{вн}} = \frac{N_{MAX}}{d_{\text{ВТ}} \cdot b}$	30,98	Питоме навантаження на зовнішній поверхні плунжера (питоме навантаження на зовнішній поверхні втулки не перевищує допустиме значення $[K_{\text{вн}}] = 50$ МПа)
6.	K_m , МПа	$K_m = \frac{2 \cdot N_{MAX} \cdot \sin \delta}{d_{\text{ТО}} \cdot H_T}$	0,08	Максимальне навантаження у нижнього краю направляючої поверхні корпусу штовхача (Максимальне навантаження у нижнього краю направляючої поверхні корпусу штовхача не перевищує допустиме значення $[K_T] = 18,5$ МПа)

Таблиця 3.5 – Розрахунок плунжеру ПНВТ

№ з/п	Позначення	Спосіб визначення або вибору	Значення	Найменування
1.	$F_{\min}$, мм ²	$F_{\min} = \frac{\pi \cdot d_{\text{ПМН}}^2}{4}$	63,585	Площа мінімального поперечного перерізу плунжера
2.	$\sigma_{\text{СЖ}}$, МПа	$\sigma_{\text{СЖ}} = \frac{P_T}{F_{\text{ПМН}}}$	0,28	Напруга стиснення в мінімальному перетині плунжера якщо мінімальний діаметр плунжеру та максимальний однакові (напруга стиснення в мінімальному поперечному перерізі плунжера не перевищують допустимих $[\sigma_{\text{СЖ}}] = 300$ МПа)
3.	$F_{\text{нон}}$, мм ²	$F_{\text{нон}} = \frac{\pi \cdot d_{\text{ПОП}}^2}{4}$	12,56	Площа опорного торця плунжера

4.	K_m , МПа	$K_m = \frac{P_T}{F_{\text{поп}}}$	1,42	Питома навантаження при плоских торцях плунжера і штовхача (питоме навантаження при плоских торцях плунжера і штовхача не перевищує допустимої $[K_T] = 2000$ МПа)
----	-------------	------------------------------------	------	--

3.5. Висновок до розділу

У розділі представлено технічне рішення щодо модернізації паливної апаратури автомобільного двигуна 4ЧН 11/12,5. Запропоновано замінити штатний ПНВТ на новий з двоплунжерними робочими секціями та можливістю роздільного електронного керування моментом початку подавання пального і моментом закінчення.

Така модернізація забезпечила підвищення середнього тиску упорскування палива на 23,8 % (з 82,8 до 102,5 МПа) та у цілому покращила процес сумішоутворення та згоряння у двигуні. Все це забезпечило підвищення паливної економичності (зниження питомої ефективної витрати палива складає 5 г/кВт·год – з 0,228 до 0,223 кг/кВт·год) з одночасним збереженням потужності двигуном та покращення екологічних показників (питомий масовий вміст оксидів азоту в ВГ NO_x знизився з 18,86 до 16,66 г/(кВт·год) або у частках на мільйон з 2543,456 до 2365,826 ppm; об'ємний вміст сажі у ВГ [C] з 0,018 до 0,012 г/м³ або у за шкалою Hartridge з 7,38 до 4,99 %).

					КРМ.142.6221мз.06.03.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4

ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ ПАЛИВНОЇ АПАРАТУРИ ДВИГУНА 4ЧН 11/12,5

У результаті реалізації запропонованої у третьому розділі модернізації паливної апаратури високообертового автомобільного двигуна 4ЧН 11/12,5 вдалося суттєво знизити питомої ефективної витрати палива (на 5 г/кВт·год). Зниження витрати палива двигуном безпосередньо відіб'ється на загальні витрати пов'язані з експлуатацією транспортного засобу.

Виходячи з цього головною метою цього розділу є аналітичне обґрунтування економічної доцільності, а також позитивного значення від модернізації та впровадження у виробництва двигунів з новими ПНВТ з двоплунжерними робочими секціями та можливістю роздільного електронного керування моментом початку подавання пального і моментом закінчення.

У таблиці 4.1, що представлена нижче, наведено базові техніко-економічні показники високообертового автомобільного дизеля 4ЧН 11/12,5 та його модернізованої версії за результатами третього розділу.

Таблиця 4.1 – Базові техніко-економічні показники та параметри двигуна прототипу та модернізованого високообертового автомобільного дизеля 4ЧН 11/12,5

Найменування показників	Позначення	Розмірність	Базовий двигун	Модернізований двигун
Потужність	Ne	кВт	100	100
Частота обертання	n	хв ⁻¹	2400	2400
Діаметр циліндра	D	м	0,11	0,11
Хід поршня	S	м	0,125	0,125
Питома витрата палива	g _e	кг/кВт·год	0,228	0,223
Механічний ккд	η _м	-	0,7583	0,7583
Питома витрата масла	g _м	кг/кВт·год	0,002964	0,002899
Вага	G	кг	545	545
Габарити	L	м	0,965	0,965
	B	м	0,676	0,676
	H	м	0,968	0,968
Ціна двигуна	Ц	грн	341400	361500
Ціна палива	Ц _п	грн/кВт·год	13,25581	12,96511628
Ціна масла	Ц _м	грн/кг	9,5	9,5

					KPM.142.6221мз.06.04.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Час роботи за рік	t	год	2250	2250
Число контрольних ремонтів	η	-	1	1
Сумарний коефіцієнт по капітальних ремонтах	$\epsilon_{\min}$	-	1,1	1,1
Коефіцієнт частини вартості роботи	b	-	0,05	0,05
Коефіцієнт використання потужності	K_{Π}	-	0,95	0,95
Коефіцієнт частини вартості капітального ремонту	$K_{\kappa, p}$	-	0,3	0,3
Час безперервної роботи	$t_{н,р}$	год	24	24
Ресурс двигуна до першого перебирання	$t_{\text{пер}}$	год	1000	1000
Ресурс двигуна до капітального ремонту	$t_{\kappa, p}$	-	10000	10000
Нормативний коефіцієнт порівняння економічної ефективності	E	кВт	0,15	0,15

Ймовірний позитивний економічний ефект від реалізації запропонованої у третьому розділі роботи модернізації паливної апаратури високообертового дизеля 4ЧН 11/12,5 та його подальше впровадження у серійне виробництво на підприємстві виконується за наступними методичними вказівками – «Методика використання в народному господарстві нової техніки, винаходів і раціоналізаторських пропозицій».

Метод техніко-економічне обґрунтування слугує для:

1. Техніко-економічне підтвердження вибору оптимальних шляхів виробництва та впровадження у економіку новітніх зразків техніки.
2. Відображення в нормах і нормативах головних показників економічності та ефективності новітніх зразків техніки.
3. Визначення, відповідно, теоретичної та фактичної ефективності від реалізування у практику нових зразків техніки.

Оцінка економічного ефекту та узагальнений розрахунок відповідного періоду окупності капіталовкладень на модернізацію паливної апаратури високообертового автомобільного дизеля 4ЧН 11/12,5 реалізується у табличній формі (табл. 4.2).

					КРМ.142.6221мз.06.04.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Таблиця 4.2 – Розрахунки економічної доцільності від модернізації високооборотного автомобільного дизеля 4ЧН 11/12,5

Найменування	Позначення	Спосіб визначення	Базовий двигун	Модернізований двигун
Річна продуктивність	N, кВт·год в рік	$N = K_{\Pi} \cdot N_{\varepsilon} \cdot t$	213750	213750
Термін служби	T, рік	$T = \frac{t_{\kappa p}}{t}$	4,44	4,44
Річні поточні витрати на паливо	З _п , грн	$З_{\pi} = N \cdot \Pi_{\pi} \cdot g_{\varepsilon}$	646022,093	617998,4738
Річні поточні витрати на масло	З _м , грн	$З_{\text{м}} = g_{\text{м}} \cdot N \cdot \Pi_{\text{м}}$	6018,7725	5886,781875
Річні витрати на поточний ремонт	З _{п.р} , грн	$З_{\pi.p} = \frac{b \cdot t \cdot \Pi}{t_{\text{неp}}}$	38407,5	40668,75
Річні витрати на капітальний ремонт	З _{к.р} , грн	$З_{\kappa.p} = \frac{K_{\kappa.p} \cdot t \cdot \Pi}{t_{\kappa.p} \cdot \varepsilon_{\text{min}}}$	20949,55	22182,95
Річний економічний ефект у споживача	U ₁ , грн	$U_1 = З_{\pi} + З_{\text{м}} + З_{\kappa.p} + З_{\pi.p}$	711397,91	686736,96
	U ₁ ^{1б} , грн	$U_1^{1б} = \frac{N_{\varepsilon}}{N_{\varepsilon}} \cdot U_1^{\varepsilon}$	711397,911	–
Річний економічний ефект у споживача від використання спроектованого двигуна	E _к , грн	$E_{\kappa} = \left[\Pi_{\varepsilon} \cdot \frac{N_{\varepsilon}}{N_{\varepsilon}} \cdot \left(\frac{\frac{1}{T_{\varepsilon}} + E_{\varepsilon}}{\frac{1}{T_{\varepsilon}} + E_{\varepsilon}} \right) + \frac{U_1^{1б} - U_1^{\varepsilon}}{\frac{1}{T_{\varepsilon}} + E_{\varepsilon}} \right] - \Pi_{\varepsilon}$		45662,535
Додаткові одnorазові витрати на модернізацію двигуна	ΔK, грн	–	20100	
Річна економія при експлуатації модернізованого двигуна	ΔS, грн	$\Delta S = U_1^{1б} - U_1^{\varepsilon}$	24660,95	
Час окупності модернізованого двигуна	T _{окуп} , рік/місяць	$T_{\text{окуп}} = \frac{\Delta K}{\Delta S}$	0,82/ 9,8	

Висновки до розділу

У розділі виконано розрахунки економічної доцільності від проведення модернізації високообертового автомобільного дизеля 4ЧН 11/12,5 (використання нового ПНВТ з двоплунжерними робочими секціями та можливістю роздільного електронного керування моментом початку подавання пального і моментом закінчення). Було визначено, що річний економічний ефект для власника транспортного засобу з модернізованим двигуном, у порівнянні з використанням серійного може становити 45662,54 грн, а кошти витрачені на таку модернізацію повернуть-ся протягом 9,8 місяця.

					КРМ.142.6221мз.06.04.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 5

АНАЛІЗ І РОЗРОБКА ЗАХОДІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИМОГ ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА ОХОРОНИ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

5.1. Розробка заходів з техніки безпеки при здійсненні ремонту та технічного обслуговування автотранспортних засобів

Модернізований високообертовий автомобільний дизельний двигун 4ЧН 11/12,5 може використовуватися на поодиноких вантажних автомобілях, самоскидах, автобусах з колісною формулою 4х2 і 4х4 повною масою до 12 т. Також дизелі 4ЧН 11/12,5 та їхні модифікації призначені для встановлення на трактори класу 14-20 кН тяги, сільськогосподарські, лісові та промислові машини й агрегати різного призначення. Саме тому завданням даного розділу є розробка заходів з ремонту та технічного обслуговування автотранспортних засобів з двигунами даного типу.

При здійсненні робіт з ремонту та технічного обслуговування автотранспортних засобів з ДВЗ потрібно остерігатися наступних шкідливих й небезпечних виробничих факторів:

- механізмів і машин, що рухаються;
- падіння піднятого автомобіля чи вузла або деталей, що знімаються з нього для виконання ремонту;
- високе значення напруги у електричному контурі, замикання якого може трапитися крізь тіло людини;
- знижена або підвищена температура повітря зони проведення робіт;
- загострені кромки, задири та шорсткість на поверхнях деталей, інструментів чи будь-якого обладнання;
- недостатнє чи навпаки надлишкове освітлення робочих місць;
- етилований бензин (для ДВЗ з примусовим запаленням) й інші небезпечні або токсичні рідини;
- присутність в зоні виконання робіт пожежонебезпечних, вибухонебезпечних газів чи рідин;

					КРМ.142.6221мз.06.05.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

– шкідливі й небезпечні речовини (етилований бензин, що призводить до отруєння в разі вдихання людиною його парів, забруднення ними тіла та одягу, проникнення у організм з питною водою або їжею).

Загальні вимоги охорони праці при технічному обслуговуванні та ремонті автотранспортних засобів з двигунами внутрішнього згоряння:

1. До самостійного виконання з ремонту та технічного обслуговування а автотранспортних засобів допускаються особи, що мають відповідну до цього кваліфікацію, пройшли вступний інструктаж, відповідний медичний огляд, первинний інструктаж, спеціальне навчання та стажування на відповідному робочому місці, перевірку вмінь та знань вимог охорони праці, а також вимог щодо використання вантажопідіймальними механізмами.

2. Під час проведення робіт з ремонту і технічного обслуговування автотранспортних засобів людина зобов'язана:

- виконувати лише ту роботу, що зазначена у робочій інструкції;
- строго виконувати усі правила внутрішнього трудового розпорядку;
- правильно використовувати різні засоби індивідуального й колективного захисту;
- не уклінно дотримуватися усіх вимог охорони праці;
- безвідкладно сповіщати свого безпосереднього керівника або керівника вищого рівня про будь-яку можливу ситуацію, що загрожуватиме життю чи здоров'ю людини, про кожний нещасний випадок, що трапився на виробництві, чи про можливе погіршення стану свого здоров'я, у тому числі й про виникнення проявів ознак гострого професійного захворювання;
- регулярно проходити навчання безпечним методикам та прийомам виконання відповідних робіт та надання безвідкладної першої допомоги потерпілим на виробництві людям, перевірку знань щодо вимог охорони праці, інструктаж з охорони праці;
- проходити періодичні обов'язкові (протягом усієї трудової діяльності) медичні огляди (чи обстеження), а також при необхідності проходити позачер-

					КРМ.142.6221мз.06.05.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

гові медичні огляди (чи обстеження) за безпосереднім направленням роботодавця у випадках, що передбачені «Трудовим кодексом» та іншими законами;

– вміти надавати долікарську першу допомогу потерпілому від електричного струму або при будь-яких інших нещасних випадках;

– вміти використовувати засоби первинного пожежогасіння (вогнегасники тощо).

3. При виконанні робіт з ремонту та технічного обслуговування автотранспортних засобів людина повинна бути забезпечена спецодягом, спецвзуттям й іншими потрібними засобами індивідуального захисту згідно з «Типовими галузевими нормами безоплатного надання спеціального одягу, взуття та інших засобів індивідуального захисту» та «Колективного договору».

4. У разі травмування чи нездужання потрібно припинити роботу, дати знати про це керівнику робіт й звернутися до медичного закладу.

5. За невиконання або порушення цієї інструкції винні притягаються до відповідальності згідно до чинного законодавства України.

Основні вимоги охорони праці перед початком виконання роботи:

1. Потрібно упорядкувати робочий одяг, а саме: застібнути рукава; заправити одяг таким чином, щоб не було різних звисаючих кінців; прибрати виступаюче волосся під головний убір, який повинен щільно облягати. Під час виконання ремонту автотранспортних засобів, що працюють на етилованому бензині, потрібно обов'язково надіти гумові чоботи та рукавички, нарукавники. Виконувати роботи у легкому взутті (сандалях, капцях тощо) суворо забороняється.

2. Потрібно перевірити наявність і справність необхідного ручного інструменту, різних пристосувань та засобів індивідуального захисту, а саме:

– набір гайкових ключів повинен відповідати розмірам гайок та не мати на поверхнях тріщин й забоїн, губки гайкових ключів повинні бути строго паралельні друг другу та не повинні бути закатані;

– розсувні ключі, що використовуються не повинні бути ослаблені або мати люфт в рухомих частинах;

					<i>КРМ.142.6221мз.06.05.ПЗ</i>	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

– підставляти підкладки між губками гайкових ключів та головкою болта, а також подовжувати рукоятки гайкових ключів за допомогою різних труб чи болтів або інших сторонніх предметів забороняється;

– слюсарні молотки та слюсарні кувалди повинні мати трохи опуклу, не збиту і не косу поверхню, без тріщин бойка, вони мають бути досить надійно закріплені на руків'ях шляхом розклинювання;

– рукоятки кувалд та молотків повинні мати достатньо гладку поверхню і бути виготовленні з деревини в'язких і твердих порід;

– ударні інструменти такі, як крейцмейселі, зубила, борідки, кернери, просічки та інші не повинні мати на собі тріщин, наклепу чи задирок. Зубила повинні бути не менше 150 мм у довжину;

– стамески, напилки та будь-які інші інструменти не повинні мати загострень на неробочих поверхнях, деталі повинні бути надійно зафіксовані на дерев'яній ручці з фіксуючим металевим кінцем на ній;

– увесь електроінструмент повинен обов'язково мати справну ізоляцію струмоведучих частин та кабелів, а також надійне заземлення.

3. Ретельно роздивитися робоче місце, привести його в відповідний порядок. Прибрати всі зайві предмети, що можуть заважати роботі. Обов'язково перевірити стан підлоги на робочому місці, так як вона має бути сухою та чистою. Якщо підлога мокра чи слизька, її потрібно витерти чи посипати тирсою.

4. Потрібно переконатися, що робоче місце має достатнє освітлення, а світло не сліпить очі.

5. Приготувати спеціальну підстилку для виконання робіт під автотранспортним засобом (лежаки чи спеціальні візки).

6. Без потреби не допускати до свого робочого місця різних сторонніх осіб.

7. Приступаючи до ремонту автотранспортних засобів, переконавшись, що бензобаки та бензопроводи паливної системи звільнені від залишків пального.

8. Перед використанням у роботі переносного освітлення перевірити, чи є на його лампі захисна сітка, чи справний шнур й ізоляційна гумова трубка на

					КРМ.142.6221мз.06.05.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

ньому. Переносне освітлення повинно включатися в електромережу з напругою не вище ніж 42В.

Основні вимоги охорони праці під час виконання робіт:

1. Під час виконання робіт з ремонту й технічного обслуговування автотранспортних засобів працівник повинен:

– здійснювати усі види ремонту та технічного обслуговування автотранспортних засобів на території підприємства (виробництва) виконувати тільки на спеціально відведених для цієї мети місцях (чи постах);

– приступати до виконання ремонту та технічного обслуговування автотранспортних засобів тільки після того, як вони будуть очищені від бруду, снігу та ретельно вимиті;

– після постановки автотранспортного засобу на пост технічного обслуговування чи ремонту потрібно обов'язково перевірити, чи він загальмований стоянковим гальмом, чи вимкнене на ньому запалювання (у разі автомобіля з дизельним двигуном – перекрита подача палива), чи встановлено важіль перемикачів передач у своє нейтральне положення, чи перекрито магістральний й витратні вентиля на газобалонному обладнанні газових автомобілів, чи підкладені під колеса спеціальні протиковзні упори – башмаки, яких повинно бути не менше двох (у випадку невиконання зазначених вище заходів безпеки потрібно зробити це самому);

– на рульове колесо автомобіля потрібно повісити табличку «Двигун не вмикати – працюють люди!». На автотранспортних засобах, що мають дублюючий пристрій для пуску двигуна, потрібно повісити таку ж саму табличку біля цього пристрою;

– після підйому транспортного засобу підіймачем на пульті управління підіймача повісити табличку «Не чіпати – під машиною працюють люди!», а під час підймання автомобіля гідравлічним підіймачем після підняття зафіксувати гідравлічний підіймач спеціальним упором від самовільного опускання;

– ремонт автотранспортних засобів знизу поза оглядовою канавою, естакадою чи підйомником потрібно проводити тільки на спеціальному лежку;

					<i>KPM.142.6221мз.06.05.ПЗ</i>	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

– для безпечного переміщення через оглядові канали, а також для виконання робіт спереду та ззаду автотransпортних засобів потрібно користуватися перехідними містками, а для спускання до оглядової каналу – спеціально встановленими для цього драбинами;

– знімати чи ставити на місце колесо у комплекті з гальмівним барабаном за допомогою спеціального візка; у разі зняття маточин, використовувати для цього спеціальні знімачі;

– усі потрібні роботи з ремонту й технічного обслуговування автотransпортних засобів обов'язково виконувати при непрацюючому двигуні, за винятком тих робіт, технологія виконання яких вимагає пуску двигуна (такі роботи виконують на спеціальних постах, на яких передбачено відсмоктування ВГ);

– для запуску двигуна та переміщення автомобіля потрібно звернутися до водія, людини перегонщика, бригадира чи слюсаря, якого призначено наказом для виконання цієї роботи;

– перед запуском двигуна потрібно переконатися, що важіль перемикачів передач перебуває у своєму нейтральному положенні й що під автотransпортним засобом та біля обертових частин двигуна немає людини;

– огляд автотransпортних засобів знизу проводиться тільки при непрацюючому двигуні;

– перед провертанням карданного валу потрібно обов'язково перевірити, чи вимкнено запалювання двигуна, а для дизеля – відсутність подачі палива;

– провертати карданний вал автомобіля потрібно обов'язково тільки за допомогою спеціального пристосування;

– знімати двигун з автотransпортного засобу та встановлювати на нього потрібно тільки тоді, коли він перебуває на колесах чи на спеціальних підставках (козелках);

– перед зніманням коліс з автотransпортного засобу потрібно підставити під вивішену його частину, або причепа, напівпричепа козелки потрібної вантажопідйомності та акуратно опустити на них вивішену частину, а також під ко-

					<i>KPM.142.6221мз.06.05.ПЗ</i>	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

леса, що не підіймаються, встановити спеціальні противідкаткові упори – башмаки кількістю не менше двох;

– для переміщення автомобіля на стоянку підприємства та перевірки роботи гальм на ходу визвати чергового чи закріпленого за автомобілем водія;

– під час виконання розбирально-складальних й інших операцій кріплення, що потребують значних фізичних зусиль, застосовувати спеціальні знімачі, гайковерти тощо;

– гайки, які досить важко відвертаються, за потреби попередньо змащувати гасом чи спеціальною рідиною;

– перед початком виконання робіт з вантажопідйомним механізмом потрібно переконатися в його справності й відповідності вазі агрегату, що потрібно підняти, чи не було прострочено термін його експлуатації;

– для зняття й встановлення агрегатів і вузлів вагою від 20 кг та більше (для жінок це 10 кг) потрібно використовувати підйомні механізми, обладнані спеціальними захватами та іншими допоміжними елементами механізації;

– під час виконання переміщення деталей вручну потрібно дотримуватися обережності, так, як деталь або агрегат може перешкоджати огляду шляху руху, відволікати людину від спостереження за переміщенням і створювати нестійке положення його тіла;

– перед здійсненням зняттям агрегатів та вузлів, пов'язаних із системами живлення ДВЗ, охолодження та змащення, у разі можливого витікання рідини, її потрібно спочатку злити в спеціальну тару;

– перед зніманням газової апаратури (ГБО), балонів чи підтягування гайок з'єднань потрібно переконатися у відсутності у них газу;

– перед зняттям ресори підвіски обов'язково потрібно розвантажити її від ваги автомобіля шляхом підймання передньої чи задньої частини транспортного засобу з наступним встановленням його рами на козелки;

– під час виконання робіт на поворотному стенді-перекидачі потрібно надійно укріпити транспортний засіб, попередньо зливши з нього пальне та охо-

					КРМ.142.6221мз.06.05.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

лоджувальну рідину, щільно закрити маслосазливну горловину й обов'язково зняти акумуляторну батарею;

– для виконання робіт під піднятим кузовом автомобіля-самоскида та при роботах із замінення чи ремонту його підйомного механізму або агрегатів потрібно попередньо звільнити кузов від наявного вантажу, обов'язково встановити додаткове обладнання – фіксатор, упор чи штангу;

– перед виконанням робіт з ремонту автомобілі-цистерни для перевезення вибухонебезпечних, легкозаймистих, токсичних вантажів потрібно повністю й ретельно очистити від залишків вищевказаних продуктів резервуари для їх зберігання;

– очистку чи ремонт усередині цистерни або резервуарів з-під, наприклад, етилованого бензину, отруйних й легкозаймистих рідин потрібно проводити у спеціальному одязі, з використанням шлангового протигаза, рятувального пояса з мотузкою; при цьому поза резервуаром повинен знаходитися спеціально проінструктований помічник.

– виконувати ремонт паливних баків потрібно тільки після повного видалення можливих залишків палива;

– перед здійсненням робіт з ремонту технічного і обслуговування транспортних засобів, що працюють на газовому паливі, потрібно попередньо підняти капот для здійснення провітрювання підкапотного простору;

– перед здійсненням робіт потрібно злити (чи випустити) газ з балонів транспортного засобу на спеціально відведеному для цього місці, а газові балони продути стиснутим повітрям, азотом чи іншим будь-яким інертним газом;

– роботи по зніманню, встановленню й ремонтам газової апаратури потрібно виконувати тільки за допомогою пристосувань, устаткування і інструменту призначеного саме для цього;

– перевіряти герметичність газової системи потрібно лише стисненим повітрям, азотом чи іншими будь-якими інертними газами при закритому витратному й відкритому магістральному вентилях;

– шланги на штуцерах обов'язково потрібно кріпити хомутиками;

					КРМ.142.6221мз.06.05.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

– розлите масло чи паливо потрібно видаляти за допомогою піску або тирси, які після застосування потрібно зсипати в спеціальні металеві ящики з кришками, що розміщуються поза приміщенням;

– під час виконання робіт розміщувати інструмент так, щоб не виникала потреба тягнутися за ним;

– потрібно правильно підбирати розмір гайкового ключа, намагатися переважно використовувати накидні й торцеві ключі, а у важкодоступних місцях – ключі з тріскачками чи з спеціальною шарнірною головкою;

– потрібно правильно накладати гайковий ключ на гайку, не підтискати гайки ривками;

– під час виконання робіт зубилом чи іншим інструментом, що рубить, потрібно обов'язково користуватися захисними окулярами, а також надягати на зубило спеціальну захисну шайбу для захисту рук від ударів;

– випресовувати втулки і пальці, які напресовано, тільки за допомогою відповідних пристосувань;

– зняті під час ремонтування автомобіля вузли та агрегати потрібно складати на спеціальні стелажі, а довгі деталі двигуна класти тільки горизонтально;

– перевіряти співвісність отворів, що стикуються тільки конусною оправкою;

– при припиненні електропостачання чи перерві в роботі слід від'єднувати електроінструмент від живлення;

– у разі якщо на тіло та засоби індивідуального захисту попав бензин чи інша будь-яка легкозаймиста рідина, потрібно не підходити до джерела відкритого вогню, не запалювати сірники і не палити;

– переміщувати вивішені на підйомно-транспортних механізмах механізми або агрегати за допомогою гаків.

2. Працівнику суворо забороняється:

– здійснювати роботи під транспортним засобом чи агрегатом, вивішеним лише на підйимальному механізмі (крім випадків використання стаціонарних електропідіймачів) без підставлення козелків чи інших пристроїв страхування;

					КРМ.142.6221мз.06.05.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

- піднімати вузли або агрегати при косому натягу троса чи ланцюга механізму підйому, а також зачалювати їх дротом, стропом тощо;
- виконувати роботи під піднятим кузовом автомобіля-самоскида без спеціального фіксуєчого пристрою;
- застосовувати випадкові підставки й підкладки замість спеціального допоміжного упору;
- виконувати роботи з пошкодженими чи невірно встановленими упорами;
- суворо забороняється здійснювати будь-які роботи на газовій апаратурі чи газових балонах, що перебувають під тиском;
- переміщувати електричні інструменти, держачи їх за кабель, а також торкатися руками обертових частин до їхнього повного зупинення;
- здувати стружку й пил стисненим повітрям, направляти струмінь цього повітря на людину, що стоїть поруч, або на себе;
- використовувати етилований бензин для миття рук, деталей двигуна тощо;
- засмоктувати бензин чи іншу рідину ротом через шланг;
- мити вузли, агрегати та деталі двигуна легкозаймистими рідинами;
- захаращувати різними речами, обладнанням, тарою, знятими з двигуна агрегатами тощо проходи між стелажми та виходи з приміщень;
- зберігати на робочому місці відпрацьоване масло, порожню тару з-під мастильних матеріалів чи палива;
- виносити спецодяг, який забруднено етилованим бензином, з підприємства, а також заходити у нього в службові приміщення або їдальню;
- застосовувати під час ремонту приставні драбини;
- випускати стиснений газ у навколишнє середовище чи зливати зріджений газ на землю;
- під час відкриття й закриття магістрального та витратного вентилів використовувати додаткові важелі;
- використовувати для закріплення шлангів електричний дріт чи інші предмети;

					КРМ.142.6221мз.06.05.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

- сплющувати, скручувати та згинати шланги й трубки, а також застосовувати замаслені шланги;
- застосовувати гайки та болти зі зім'ятими та пошкодженими гранями;
- тримати досить дрібні деталі руками при здійсненні їх свердління;
- розміщувати прокладки між зівом гайкового ключа й гранями гайок, болтів, а також доточувати гайкові ключі трубами чи іншими сторонніми предметами;
- вивішені на підйомних механізмах двигуни, агрегати або деталі штовхати чи тягнути руками.

Основні вимоги охорони праці у разі аварійних ситуацій:

1. У разі виникнення аварійної ситуації, що може призвести до нещасних випадків, потрібно:

- негайно припинити виконання робіт та сповістити про це керівника;
- під прямим керівництвом керівника робіт швидко вжити заходів щодо усунення можливих причин аварій чи ситуацій, що може призвести нещасних випадків;

2. У разі виникнення задимлення або навіть пожежі:

- потрібно негайно повідомити за телефоном «101» у пожежну охорону, сповістити усіх працюючих робітників, довести до відома відповідного керівника підрозділу, обов'язково повідомити про виникнення загоряння на пост охорони;

- відчинити запасні виходи з будівлі та приміщень, знеструмити електромережі, закрити усі вікна і прикрити двері;

- якщо це не пов'язано з ризиком для життя, приступити до безпосереднього гасіння пожежі первинними (підручними) засобами пожежогасіння;

- зустріти пожежну команду;

- покинути будівлю та знаходитися в зоні евакуації;

3. У разі виникнення нещасного випадку:

- негайно забезпечити першу допомогу потерпілому та за потреби доставку його до медичної установи;

					<i>КРМ.142.6221мз.06.05.ПЗ</i>	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

– вжити усі невідкладні заходи щодо запобігання розповсюдження аварійної або іншої надзвичайної ситуації та безпосереднього впливу травмуючих факторів на інших людей;

– до початку проведення розслідування нещасного випадку зберегти обстановку на місці, якою вона була у момент виникнення події, у разі якщо це не загрожує життю чи здоров'ю інших людей та не призведе до аварії, катастрофи чи утворення інших надзвичайних обставин, а у разі відсутності спроможності її збереження – все зафіксувати (скласти схему, провести інші потрібні заходи).

Основні вимоги охорони праці після виконання робіт:

– відімкнути від електропостачання електрообладнання, знеструмити місцеву вентиляцію;

– привести до ладу своє робоче місце. Прибрати інструмент, пристосування, у відведені для них місця;

– якщо транспортний засіб залишається на спеціальних підставках, обов'язково перевірити надійність його фіксації. Категорично забороняється залишати транспортний засіб, агрегат вивішеним тільки за допомогою підйомного механізму;

– зняти з себе засоби індивідуального захисту та прибрати їх у відповідне для них місце;

– вимити начисто руки з милом, а після виконання робіт з деталями та вузлами двигуна, що використовує етилований бензин, потрібно попередньо промити руки гасом;

– про усі виявлені недоліки, під час робіт, сповістити свого прямого керівника.

5.2. Охорона навколишнього середовища

Автомобільний транспорт відіграє досить важливу роль у сучасному суспільстві. Він забезпечує зв'язок між людьми та різними організаціями, а також сприяє економічному розвитку країн. Однак його використання крім позитивних речей призводить до низки екологічних проблем, таких, наприклад, як за-

					<i>КРМ.142.6221мз.06.05.ПЗ</i>	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

бруднення навколишнього повітря, шум, споживання енергії та використання природних ресурсів планети. Оптимальна організація переміщення матеріальних цінностей та різних речовин з однієї точки в іншу за мінімального маршруту – це є ключовим завданням транспортної логістики. Автотransпортний сектор становить досить суттєву загрозу для екології, так як є головним джерелом забруднення навколишнього середовища. На різний автомобільний транспорт та підприємства дорожньо-будівельної галузі припадає до 89 % усіх шкідливих викидів, що у середньому становить до 35 мільйонів тонн. Науковці стверджують, що різні за призначенням види транспорту мають неоднаковий вплив на забруднення навколишньої атмосфери. Так, наприклад, автомобілі є джерелом забруднень у 85 %, морський та річковий транспорт – 5,3 %, повітряний транспорт – 3,7 %, залізничний – 3,5 %, а сільськогосподарський – до 2,5%.

Відпрацьовані гази двигунів внутрішнього згоряння містять понад двохсот видів шкідливих речовин та компонентів, включно з вкрай шкідливими канцерогенами. Різні нафтопродукти, зношені шини та відпрацьовані гальмівні колодки, пилові й сипучі матеріали, а також хімічні сполуки на базі хлору, які застосовують для обробки автодоріг, забруднюють узбіччя, а також водні об'єкти.

У постійній боротьбі за збереження чистого довкілля Україна значно відстає від західних розвинутих держав. Вітчизняні автомобілі викидають у три а подекуди і п'ять разів більше шкідливих речовин на кілометр пройденого шляху у порівнянні із закордонними аналогами. Кожен п'ятий автомобіль в країні експлуатується з значно підвищеним рівнем токсичності чи димності вихлопних газів. На професійну думку медиків та екологів, автомобілі з ДВЗ негативно впливають на середню тривалість життя населення країни. Забруднення ґрунту від транспорту викидами відбувається поступово й нап'яму залежить від інтенсивності руху транспортних засобів на дорогах.

Шум, поряд із забрудненням навколишнього повітря, також став серйозною проблемою для оточуючих, викликаною технічним прогресом й стрімким розвитком транспортної інфраструктури країни. Шум від транспорту генерує негативний вплив на навколишнє середовище й особливо на місце проживання лю-

					КРМ.142.6221мз.06.05.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

дини (міста, та різні населені пункти). Згідно зі відомою статистикою, велика кількість мешканців України у повсякденному житті відчувають шумові незручності, причому більша половина з яких зазнає впливу шуму понад у 65 дБ.

Шум у транспортному засобі, що рухається, генерується різними чинниками, такими як, наприклад, силовий агрегат (ДВЗ), система впуску й випуску, трансмісія автомобіля, колеса, підвіска та кузов, а також безпосередня взаємодія кузова з повітряним потоком. Поверхня двигуна внутрішнього згоряння може генерувати рівень шумової у 90...115 дБ на відстані у до одного метра. Загалом максимальний рівень акустичної потужності на відстані у 1 м від працюючого двигуна може скласти до 104 або навіть 120 дБ. Одним із дієвих способів захисту навколишнього середовища від негативного впливу автотранспорту та зниження шуму є зелені насаджень уздовж доріг. Досить густа стіна з чагарників, листяних дерев й молодого лісу може створити захисний бар'єр, знижуючи рівень шуму та покращуючи якість навколишнього повітря; використання автовласниками та підприємствами нових видів транспортних засобів, які використовують екологічно чисті джерела енергії (наприклад, електромобілі або водневі автівки); застосування більш сучасних та досконалих систем газовідведення – каталізаторів палива, систем шум оглушення, глушників шуму.

Розрахунки рівня шуму та вібрації високообертового автомобільного дизельного двигуна 4ЧН 11/12,5

Рівень шуму від автомобільного високообертового дизельного двигуна типу 4ЧН 11/12,5 можна визначити наступним чином:

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

де n_n – номінальна частота, $n_n = 2400$ об/хв; n – робоча частота, $n = 1400$ об/хв; N_e – номінальна ефективна потужність, $N_e = 100$ кВт.

$$L = \left[54 + 10 \cdot \lg(2400 + 100^{0,55}) + 30 \lg\left(\frac{1400}{2400}\right) \right] = 80,8 \text{ дБ}$$

Рівень шуму високообертового дизельного двигуна типу 4ЧН 11/12,5 згідно з рис. 5.1 вкладається у припустимі значення.

					КРМ.142.6221мз.06.05.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

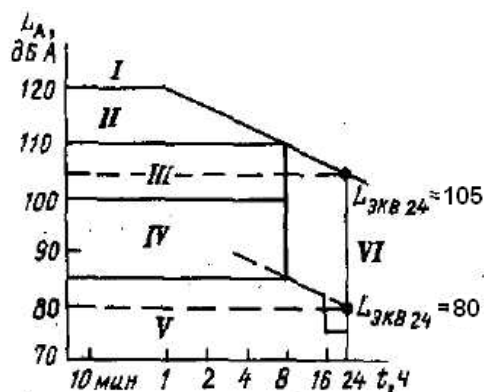


Рисунок 5.1 – Зони припустимої дії шуму

Рівень вібрації від автомобільного високообертового дизельного двигуна типу 4ЧН 11/12,5 можна визначити наступним чином:

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

де m – маса дизеля 4ЧН 11/12,5, $m = 545$ кг.

$$L = 44 + 10 \lg \left(\frac{2400 \cdot 100^{0,55} \cdot \left(\frac{1 + 100}{545} \right)}{1 + \left(\frac{1}{1500} \right)^3 \cdot \frac{545}{100}} + 30 \lg \left(\frac{1400}{2400} \right) \right) = 81,48 \text{ дБ}$$

Рівень вібрації від автомобільного високообертового дизеля 4ЧН 11/12,5 не перевищує встановленої норм.

5.3. Висновки до розділу

У розділі було розроблено низьку загальних заходів з техніки безпеки персоналу при виконанні ремонту та технічного обслуговуванні автотранспортних засобів з двигунами внутрішнього згоряння. Визначено, що рівень вібрації та шуму від дизельного високообертового двигуна 4ЧН 11/12,5, який застосовується на вантажних автомобілях різного призначення, самоскидах, автобусах та різній сільськогосподарській техніці, не перевищує встановлених норм та складають відповідно 80,8 і 81,48 дБ відповідно.

					КРМ.142.6221мз.06.05.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

ВИСНОВОК ПО РОБОТІ

У магістерській роботі на тему: «*Модернізація конструкції паливної апаратури автомобільного двигуна*» присутні усі рекомендовані кафедрою ДВЗ, У та ТЕ розділи й відповідні креслення.

У першому розділі виконано стислий опис конструкції та основних систем високообертового дизельного двигуна 4ЧН 11/12,5, що застосовується на вантажних автомобілях, самоскидах, автобусах та інших промислових машинах.

У другому розділі виконано моделювання номінального режиму роботи високообертового дизельного двигуна 4ЧН 11/12,5 у програмному комплексі Блиц-PRO. Всі отримані при моделюванні дані, які потребують контролю входять у допустимі межі та відповідають роботі даного двигуна на номінальному режимі.

У третьому розділі представлено технічне рішення щодо модернізації паливної апаратури автомобільного двигуна 4ЧН 11/12,5. Зокрема було запропоновано замінити штатний ПНВТ на новий з двоплунжерними робочими секціями та можливістю роздільного електронного керування моментом початку подавання пального і моментом закінчення. Також було розроблено та розраховано основні елементи конструкції нового ПНВТ.

Така модернізація двигуна 4ЧН 11/12,5 забезпечила підвищення середнього тиску упорскування палива на 23,8 % (з 82,8 до 102,5 МПа) та у цілому покращила процес сумішоутворення та згоряння у двигуні. Все це забезпечило підвищення паливної економичності (зниження питомої ефективної витрати палива складає 5 г/кВт·год – з 0,228 до 0,223 кг/кВт·год) з одночасним збереженням потужності двигуном та покращення екологічних показників (питомий масовий вміст оксидів азоту в ВГ NO_x знизився з 18,86 до 16,66 г/(кВт·год) або у частках на мільйон з 2543,456 до 2365,826 ppm; об'ємний вміст сажі у ВГ [C] з 0,018 до 0,012 г/м³ або у за шкалою Hartridge з 7,38 до 4,99 %).

					КРМ.142.6221мз.06.00.ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

У четвертому розділі виконано розрахунки економічної доцільності від проведення модернізації дизеля 4ЧН 11/12,5. Визначено, що річний економічний ефект для власника транспортного засобу з модернізованим двигуном, у порівнянні з використанням серійного може становити 45662,54 грн, а кошти витрачені на таку модернізацію повернуться протягом 9,8 місяця.

У п'ятому розділі було розроблено низьку загальних заходів з техніки безпеки персоналу при виконанні ремонту та технічного обслуговуванні автотransпортних засобів з двигунами внутрішнього згоряння. Визначено, що рівень вібрації та шуму від дизельного високообертового двигуна 4ЧН 11/12,5 не перевищує встановлених норм та складають відповідно 80,8 і 81,48 дБ відповідно.

Таким чином, підсумовуючи результати проведеної роботи, можна зробити загальний висновок щодо актуальності та доцільності реалізації запропонованої модернізації високообертового двигуна 4ЧН 11/12,5.

					КРМ.142.6221мз.06.00.ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

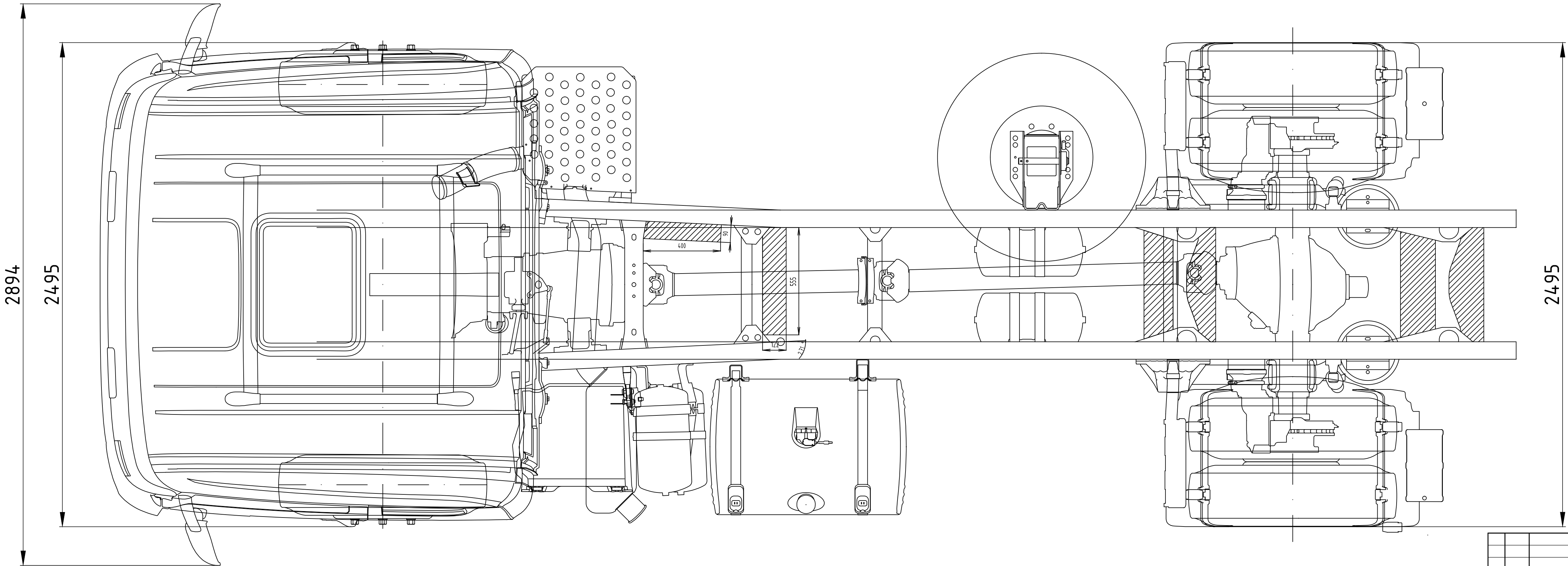
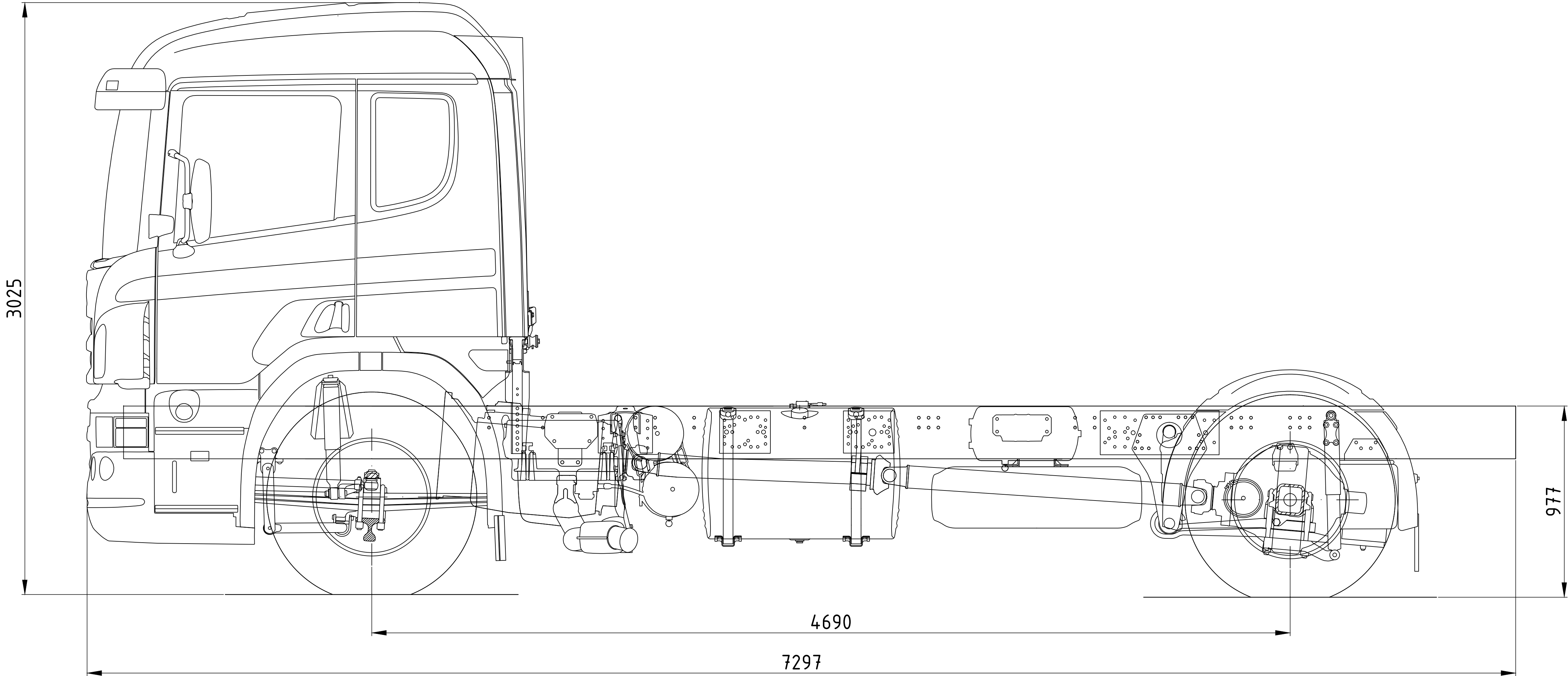
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Суднові двигуни внутрішнього згоряння: Підручник / В.С. Наливайко, Б.Г. Тимошевський, С. Г. Ткаченко. Миколаїв : видавець Торубара В. В., 2015. – 332 с.
2. Наливайко В. С., Ткаченко С. Г., Хоменко В. С. Конструкція і динаміка двигунів внутрішнього згоряння. Програма, методичні вказівки та контрольні завдання для студентів заочної форми навчання. – Миколаїв: НУК, 2008. – 64 с.
3. Наливайко В. С. Суднові двигуни внутрішнього згоряння: Методичні вказівки до виконання графіко-розрахункових робіт / В. С. Наливайко, С. Г. Ткаченко, В.С. Хоменко. – Миколаїв: НУК, 2012. – 72 с.
4. Наливайко В.С. Конструктивні вузли та системи судових двигунів внутрішнього згоряння : навчальний посібник / В.С. Наливайко, Б.Г. Тимошевський. – Миколаїв : Нук, 2013. – 100 с.
5. Митрофанов О.С., Проскурін А.Ю. Основи експлуатації, обслуговування та ремонту двигунів внутрішнього згоряння : навч. посіб. Миколаїв : НУК, 2018. 151 с.
6. 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 засл. діяча науки України проф. А. Ф. Шеховцова. Харків : Прапор, 2004. –384 с.
7. ДСТУ 7239:2011 «Система стандартів безпеки праці. Засоби індивідуального захисту. Загальні вимоги та класифікація».
8. Heywood John B. Internal Combustion Engine Fundamentals / John B. Heywood. - New York.: McGraw Hill New York, 1988. – 930 p.
9. Realizing Future Trends in Diesel Engine Development / B. Georgi, S. Hunkert, J. Liang, M. Willmann // SAE Papers. – 1997. – 972686. – P. 2133–2145.
10. An Innovative 3D-CFD-Approach towards Virtual Development of Internal Combustion Engines. / Chiodi M./ Stuttgart. 2011. 275 pp.

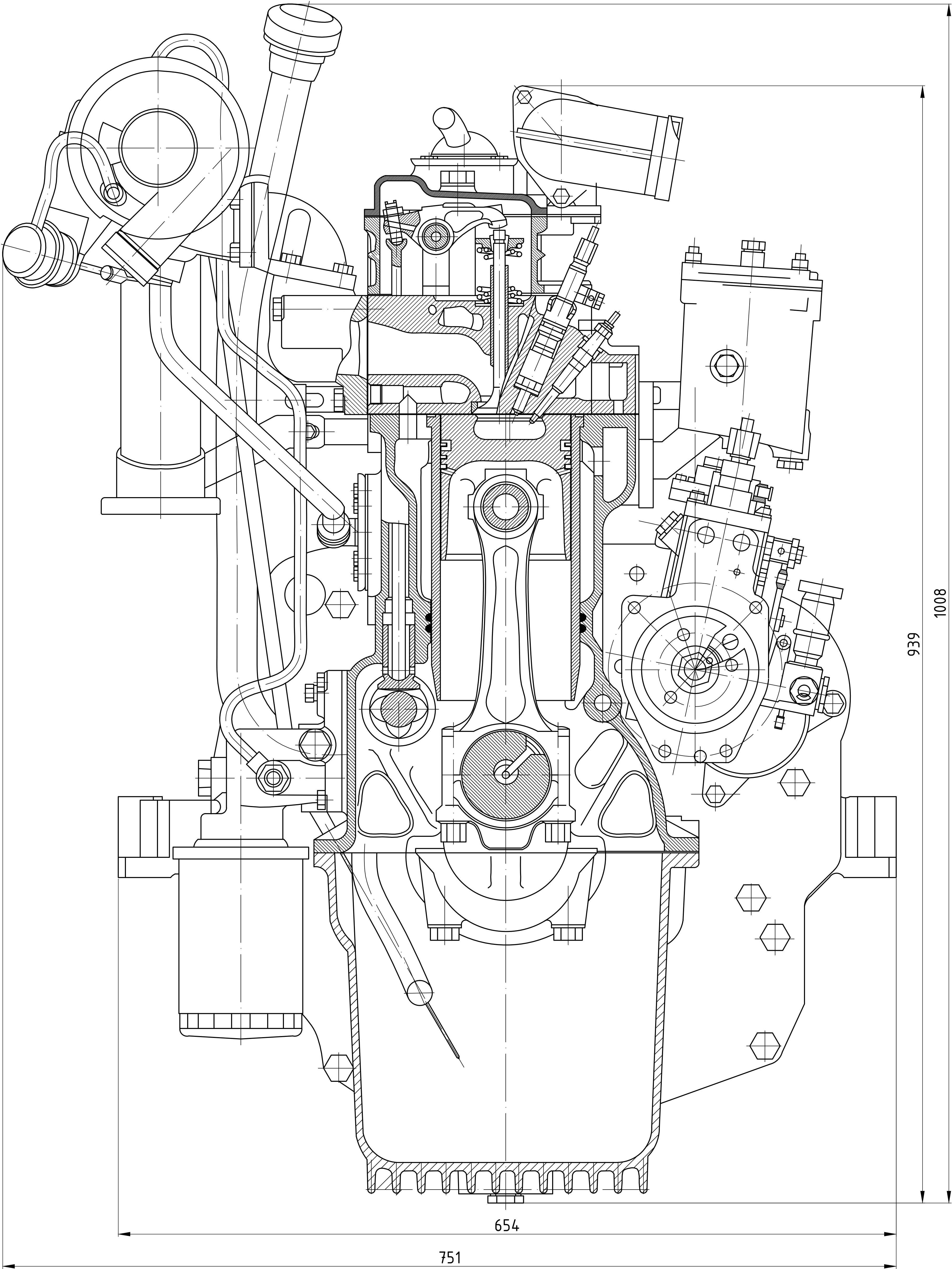
					КРМ.142.6221мз.06.00.ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

11. Mollenhauer, K. Hanbbook of diesel engines / K. Mollenhauer, H. Tschoeke. – Berlin : Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010. –634 p.
12. <http://blitzpro.zeddmalam.com/application/index/signin>

					<i>KPM.142.6221мз.06.00.ПЗ</i>	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



					KPM.142.6221мз.06.01						
					Загальний вигляд вантажного автомобіля			Літ.	Маса	Масштаб	
											1:15
								Лист		Листов	
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				НУК			
Студент		Максименко А.В.						ім. адм. Макарова			
Керівник		Митрофанов О.С.									
Зав. каф.		Гогоренко О. А.									

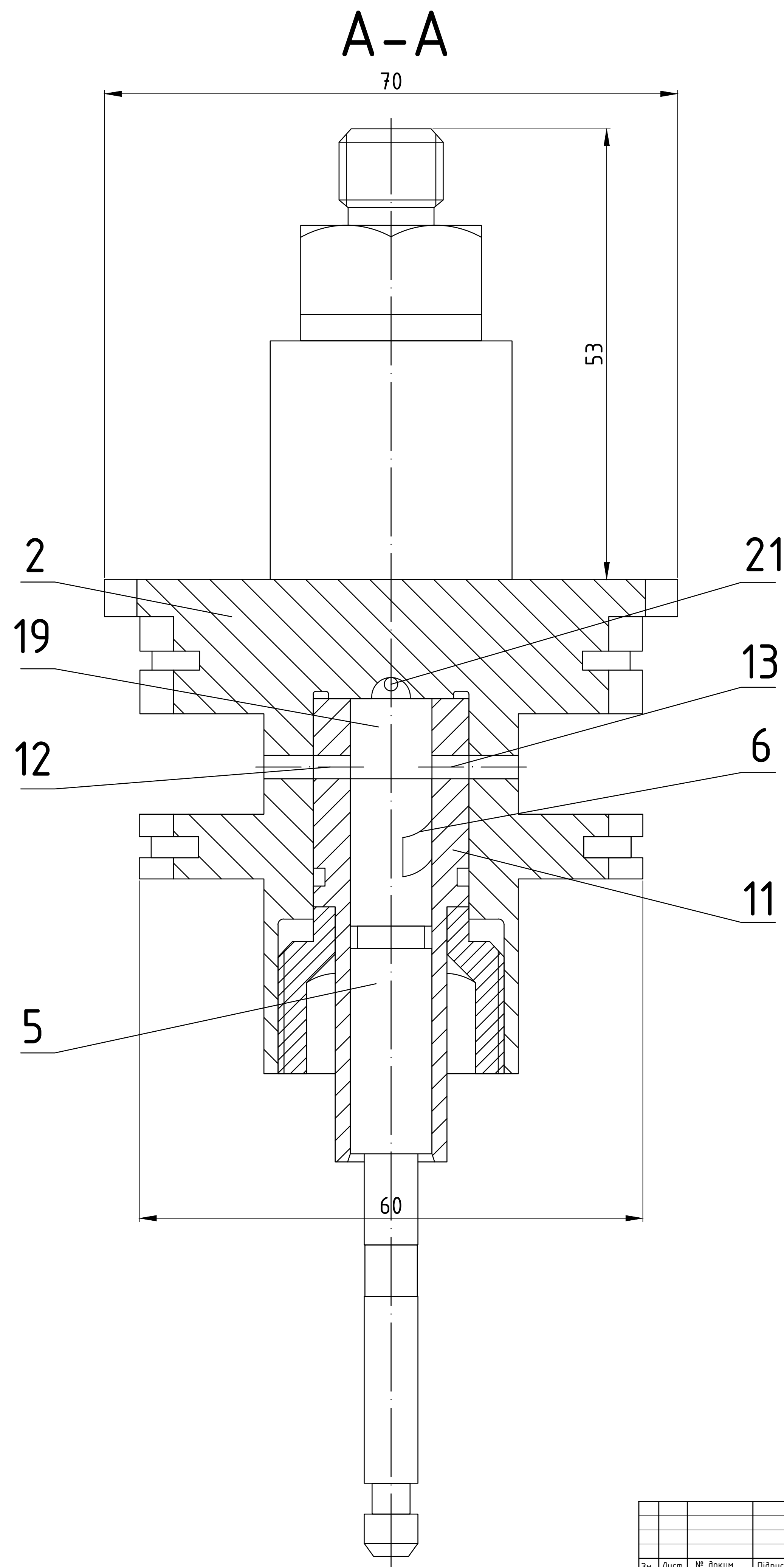
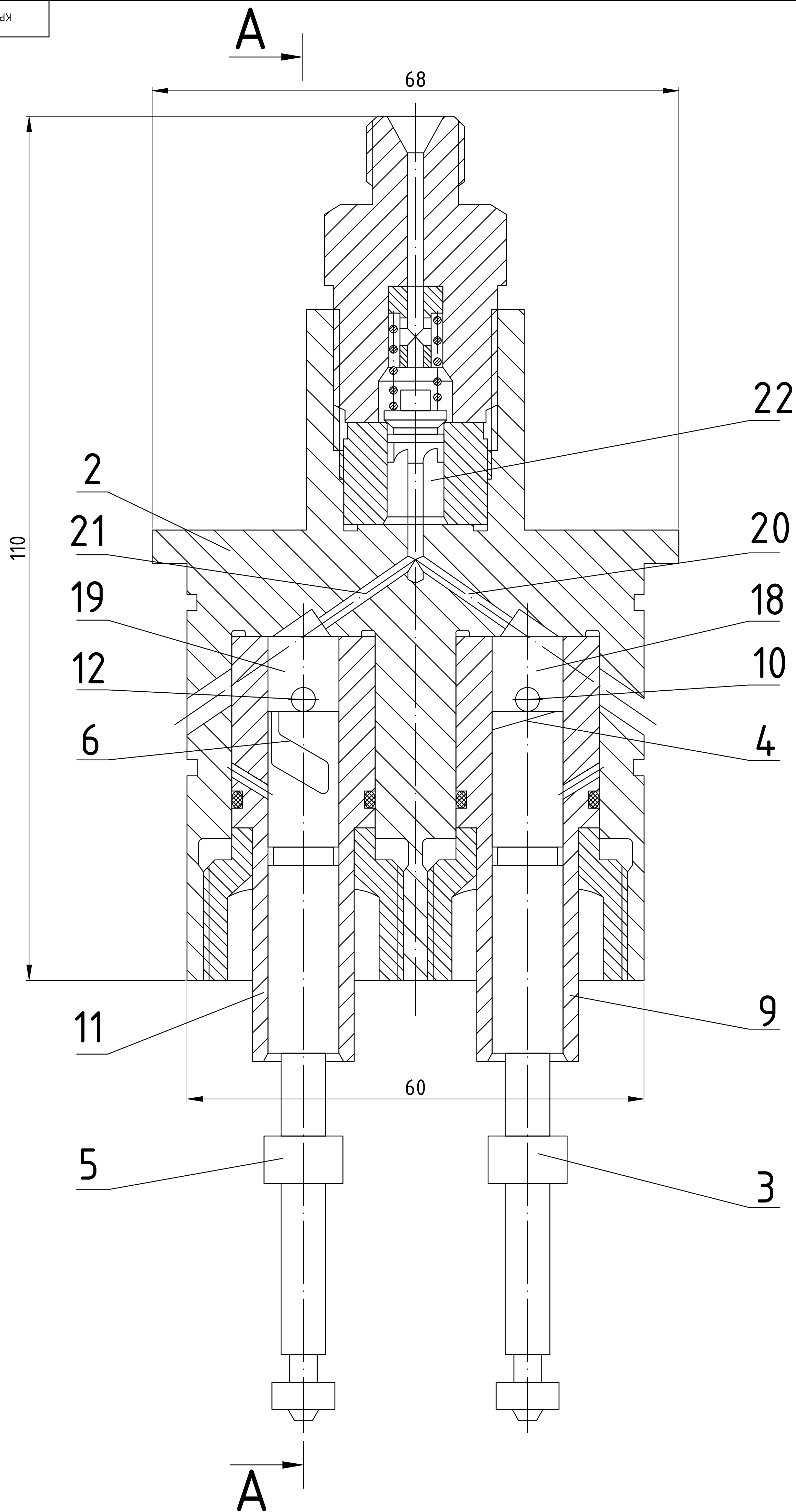


					KPM.142.6221м3.06.02				
					Поперечний розріз двигуна 4 ЧН 11/12,5	Лім.	Маса	Масштаб	
								1:2	
						Лист	Листов		
						НЧК ім. адм. Макарова			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата					
	Студент	Максименко А.В.							
	Керівник	Митрофанов О.С.							
	Зав. каф.	Гогоренко О. А.							

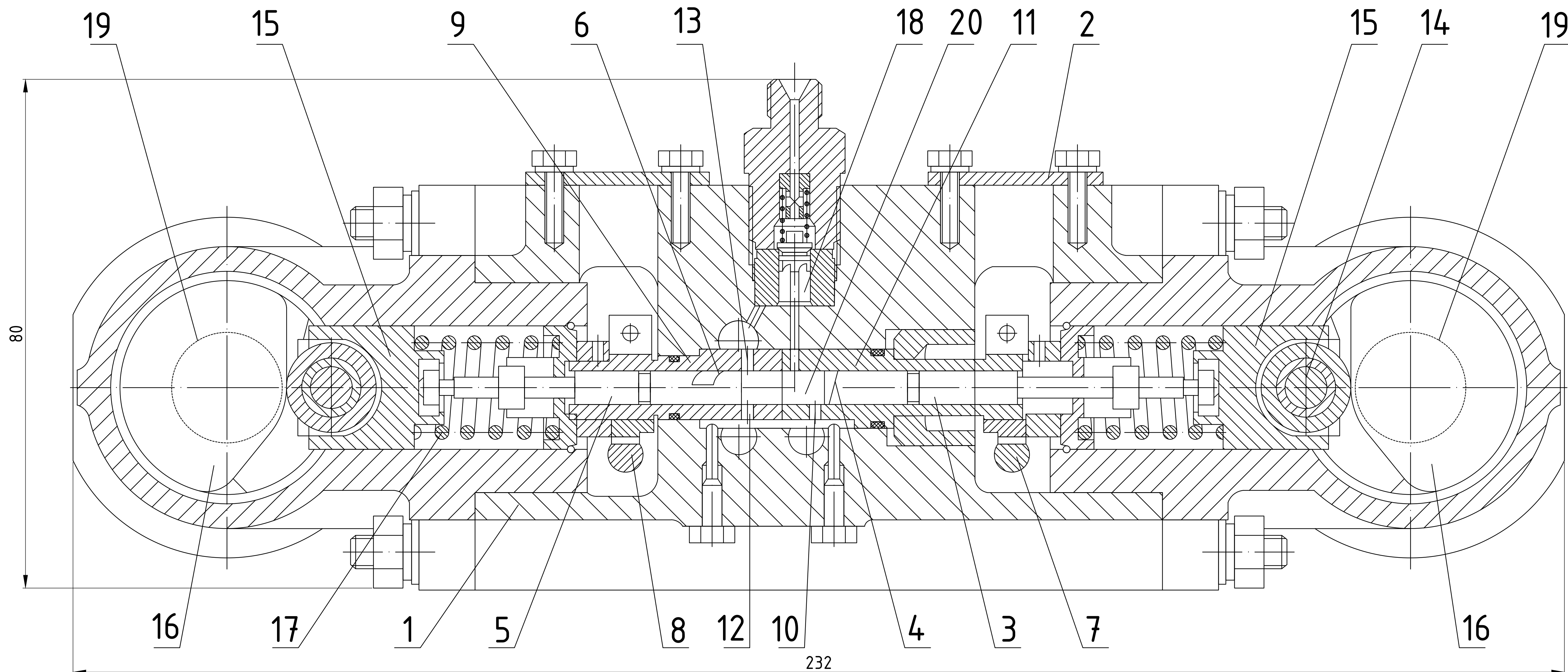


KPM.142.6221M3.06.03

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Двоплунжерна робоча секція ПНВТ	Лист	Маса	Масштаб	
Студент		Максименко А.В.							2,5:1
Керівник		Митрофанов О.С.				Лист	1	Листов	2
Зав. каф.		Гозаренко О.А.				НУК ім. адм. Макарова			



				КРМ.14.2.6221мз.06.04				
				Двопунжерна робоча секція ПНВТ	Лит.	Маса	Масштаб	
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис				2,5:1	
Студент		Максименко А.В.						
Керівник		Митрофанов О.С.						
Заб. каф.	Газаренко О. А.				Лист	2	Листов	2
					НУК			
					ін. адм. Макарова			



Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Примітка
		1		Корпусі ПНВТ		
		2		Кришка		
		3		Плунжер		
		4		Верхня гвинтова кромка		
		5		Плунжер		
		6		Верхня гвинтова кромка		
		7		Рейка		
		8		Рейка		
		9		Впускний отвір		
		10		Впускний отвір		
		11		Втулка		
		12		Впускний отвір		
		13		Відсічний отвір		
		14		Вісь		
		15		Штовхач		
		16		Кулачок		
		17		Пружинами		
		18		Загальний нагнітальний клапан		
		19		Кулачковий вал		
		20		Надплунжерна робоча порожнина		

							КРМ.142.6221мз.06.05			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ПНВТ із двома кулачковими валами	Лит.	Маса	Масштаб		
Заб. каф.	Гозоренко О. А.	НУК ім. адм. Макарова								
						Лист	Листов			