

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Первомайський навчально - науковий інститут

Кафедра «Енергетичне машинобудування»

«Допущений до захисту»
Завідувач кафедри

«__» _____ 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»

на тему: Удосконалення конструкції поршневої групи з метою покращення
ресурсних показників газового двигуна потужністю 230 кВт.

Прототип – 6ГЧН18/22

Виконав: студент групи 41-ЕМ-21з

Самойленко С.С.

Керівник роботи:

викладач
(посада, науковий ступень, вчене звання)

Дубовець А.І.
(підпис)

Первомайськ - 2025 р.

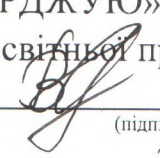
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Первомайський навчально - науковий інститут

Факультет – Інженерно-економічний

Кафедра «Енергетичне машинобудування»
Спеціальність 142 – «Енергетичне машинобудування»
Освітня програма «Двигуни внутрішнього згоряння»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Гарант освітньої програми


(підпис)

«__» _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»

Студенту Самойленку Сергію Сергійовичу

1. Тема роботи: Удосконалення конструкції поршневої групи з метою покращення ресурсних показників газового двигуна потужністю 230 кВт.

Прототип – 6ГЧН18/22.

Затверджено розпорядженням ПННІ НУК від 10.02.2025 року № 24.

2. Термін подання студентом роботи до розгляду на кафедрі 12.05.2025 року.

3. Вихідні данні по роботі: Двигун-прототип 6ГЧН18/22, номінальною потужністю 230кВт.

4. Перелік питань, що належать до розробки (найменування розділів):

Вступ.

Розділ 1. Опис конструкції базового двигуна 6ГЧН18/22.

Розділ 2. Розрахунок робочого процесу та динаміки двигуна.

Розділ 3. Проектування конструкції поршня

Розділ 4. Розробка заходів з охорони праці та захисту навколишнього середовища.

Висновки.

5. Перелік презентаційних матеріалів.

1.Складальне креслення ДВГА-230(СК), 2. Двигун 6ГЧН18/22 (СК), 3. Поршень (СК), , 4. Тронк поршня (РК), 5. Головка поршня (РК), 6.Індикаторна діаграма та діаграми сил, що діють в КШМ, ІД

Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1			
2			
3			
4			

Дата видачі завдання «10» лютого 2025р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Номер	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ.	24.02.2025	
2	Загальний розділ.	10.03.2025	
3	Конструкторський розділ.	31.03.2025	
4	Науковий розділ.	07.04.2025	
5	Охорона праці та навколишнього середовища.	14.04.2025	
6	Загальні висновки по кваліфікаційній роботі.	28.04.2025	
7	Оформлення кваліфікаційної роботи	12.05.2025	

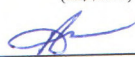
Студент



Самойленко С.С.

(підпис)

Керівник роботи



Дубовець А.І.

(підпис)

Анотація

сторінок 63, рисунків 6, таблиць 5, бібліографія 11

В кваліфікаційній роботі бакалавра «Удосконалення конструкції поршневої групи з метою покращення ресурсних показників газового двигуна потужністю 230 кВт. Прототип – 6ГЧН18/22» приведений опис конструкції двигуна - прототипу 6ГЧН18/22, виконанні розрахунки робочого процесу з побудовою індикаторної діаграми, теплового балансу та динаміки двигуна, проведений аналіз конструкцій глушників шуму для дизельних та газових поршневих двигунів внутрішнього згоряння. Обґрунтована покращена конструкція глушника шуму, який забезпечує зниження рівня аеродинамічного шуму випускних газів. Розроблені заходи по забезпеченню охорони праці та захисту навколишнього середовища при експлуатації двигуна. В графічній частині бакалаврської роботи виконані складальні креслення двигуна, глушників шуму активного і реактивного типу, індикаторна діаграма та діаграми сил, що діють в КШМ.

Ключові слова: *Газовий двигун, робочий процес, індикаторна діаграма, діаграми сил, тепловий баланс, глушник шуму, охорона праці, захист навколишнього середовища.*

Annotation

63 pages, 6 figures, 5 tables, 11 bibliography

The bachelor's qualification work "Improvement of the piston group design in order to improve the resource performance of a 230 kW gas engine.

Prototype – 6GCHN18/22" describes the design of the engine - the prototype 6GCHN18/22, performs calculations of the work process with the construction of an indicator diagram, heat balance and engine dynamics, analyzes the designs of mufflers for diesel and gas piston internal combustion engines. An improved design of the muffler is justified, which provides a reduction in the level of aerodynamic noise of exhaust gases. Measures are developed to ensure labor protection and environmental protection during engine operation. The graphic part of the bachelor's thesis includes assembly drawings of the engine, active and reactive noise silencers, an indicator diagram, and force diagrams acting in the KSHM.

Keywords: *Gas engine, work process, indicator diagram, force diagrams, heat balance, noise muffler, labor protection, environmental protection.*

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1. ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ	
1.1 Технічна інформація про об'єкт використання двигуна.....	6
1.2 Опис конструкції двигуна – прототипу.....	13
2. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	
2.1 Вибір основних параметрів для розрахунку робочого процесу.....	17
2.2 Розрахунок робочого процесу газового двигуна.....	19
2.3 Розрахунок та побудова теоретичної та дійсної індикаторної діаграми.....	29
2.4 Розрахунок теплового балансу	33
2.5 Динамічний розрахунок двигуна.....	38
3. НАУКОВИЙ РОЗДІЛ	
3.1 Опис та аналіз конструкцій поршнів	42
3.2 Вибір конструкції проектного поршня	43
3.3 Розрахунок поршня на міцність	54
4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	
4.1 Охорона праці та техніка безпеки при роботі в машинному відділенні.....	57
4.2 Захист навколишнього середовища	61
ВИСНОВКИ.....	65
ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ.....	66

					ПННІ НУК 142.41.25.03 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Самойленко			Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Дубовець						
							3	96
Н. Контр.		Дубовець				41-ЕМ-21з		
Затверд.		Нестеренко						

ДОДАТКИ

ДОДАТОК 1 Загальний вид електростанції,СК, А1

ДОДАТОК 2 Газовий двигун 6ГЧН18/22 (Поперечний розріз), СК, А1

ДОДАТОК 3 Поршень, СК, А1

ДОДАТОК 4 Тронк поршня, РК, А1

ДОДАТОК 5 Головка поршня, РК, А1

ДОДАТОК 6 Діаграма індикаторна та сил, що діють на КШМ

					ПННІ НУК 142.41.25.03 ПЗ	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Двигуни внутрішнього згоряння (ДВЗ) широко застосовуються в усіх галузях народного господарства та в майбутньому залишатимуться важливим джерелом енергії для різноманітних енергетичних установок. Постійне вдосконалення конструкцій ДВЗ зумовлює необхідність розробки нових рішень, які відповідають сучасним вимогам ефективності, надійності та екологічної безпеки. Це ставить перед двигунобудівниками складне, але актуальне завдання — підвищення технічного рівня двигунів відповідно до їх призначення.

ДВЗ є циклічними тепловими двигунами, що, з одного боку, є їхнім недоліком, але з іншого — дозволяє реалізовувати високі температури та тиск газу в робочому процесі. Завдяки цьому вони забезпечують високу економічність у порівнянні з іншими типами теплових двигунів.

Проте розвиток двигунобудування сьогодні відбувається в умовах вичерпання світових запасів нафти, а також посилення вимог до екологічних характеристик — зниження токсичності викидів, рівня шуму й вібрацій. Це ускладнює вдосконалення ДВЗ за технічними параметрами, зокрема ресурсу, ефективності й надійності.

Сучасні двигуни внутрішнього згоряння — це складні технічні системи, які складаються з великої кількості деталей, механізмів і систем. Їхня конструкція суттєво впливає на масу, потужність, паливну економічність та експлуатаційні показники двигуна. Один із перспективних напрямків розвитку — переобладнання дизельних двигунів для роботи на більш дешевому й екологічно чистому паливі, зокрема на природному газі.

У даному дипломному проєкті запропоновано спрощений та вдосконалений варіант конструкції поршневої групи, що має на меті підвищення ресурсних показників газового двигуна за умов його роботи на альтернативному паливі.

					ПННІ НУК 142.41.25.03 ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Технічна інформація про об'єкт застосування двигуна.

Для розміщення трьох когенераційних установок із газовими двигунами типу 6ГЧН18/22 загальною електричною потужністю 690 кВт, як правило, використовуються площі, що вивільняються під час реконструкції промислових об'єктів. У даному проєкті когенераційна установка розміщується на вільній площі існуючої котельні.

Будівля — одноповерхова, збірна, із залізобетонним каркасом і стіновими панелями. Висота до нижнього поясу ферм — 6 м. Приміщення обладнане підвісним краном вантажопідйомністю 1,0 т. Технічний стан будівлі — задовільний; зона, де буде встановлено когенераційну установку, є вільною. У зовнішніх стінах передбачені світлові прорізи. До будівлі підведені всі необхідні інженерні комунікації. Стан навколишнього середовища району — задовільний. Розрахункова температура зовнішнього повітря у найхолодніші п'ять днів становить -20 °С.

Призначення та мета впровадження когенераційної установки

Когенераційна установка на базі газового двигуна-генератора ДвГА-230 з двигуном 6ГЧН18/22 призначена для виробництва електричної енергії для власних потреб котельні, а також для отримання додаткової теплової енергії за рахунок утилізації тепла охолоджуючої рідини, масла, наддувного повітря і вихлопних газів двигуна.

Метою застосування когенераційної установки є зниження витрат споживача на електроенергію в 1,5–2 рази, а також забезпечення додаткового тепlopостачання.

клад і характеристика обладнання

До складу когенераційної установки входить наступне теплотехнічне обладнання: Газовий двигун-генератор ДвГА-230; Утилізаційний водогрійний теплообмінник (ТУВ); Циркуляційні насоси; Насоси підживлення; Градієнт ГМП-20; Газова шафа; Трубопроводи із запірною арматурою; Система стисненого повітря; Система прийому (розраховане місце для обслуговування та спостереження).

					ПННІ НУК 142.41.25.03 ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Основні технічні дані газового двигун-генератора ДвГА-230:

- повна потужність на вихідних клеммах генератора, кВт	230
- мінімальна потужність при тривалій роботі, кВт	80
- питома витрата циркуляційного масла на угар, г/(кВт·год)	0,9
- тиск газу на вході в редуктор, МПа, не більше	0,3
- вид струму -	змінний, 3-х фазний
- напруга, В	400
- частота, Гц	50
- назначений ресурс безперервної роботи, годин	1000
- маса двигун -генератора, кг	4695
Габаритні розміри, мм	
- довжина	3370
- ширина	942
- висота	1763

Двигун-генератор автоматизований по 2-й ступені ГОСТ 14228-80 із виконанням наступних операцій:

- автоматичне регулювання частоти обертання валу двигуна, напруги і температури в системах охолодження і мащення;
- місцеве і дистанційне управління пуском, остановкою, передпусковими і післяостановочними операціями;
- автоматичне заряджання АКБ, забезпечуючий пуск і живлення засобів автоматизації (при пуску електростартера);
- автоматична аварійно-попереджувальна сигналізація і захист;
- індикація значень контрольованих параметрів на місцевому щитку і дистанційному пульті.
- дистанційне автоматизоване і автоматичне керування пуском, остановкою, передпусковими і післяостановочними операціями;
- автоматичний прийом навантаження при автономній роботі або видача сигналу про готовність до прийому навантаження;

					ПННІ НУК 142.41.25.03 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- автоматизація спільної роботи двигунів, у тому числі автоматичний прийом навантаження в ході синхронізації при паралельній роботі ДвГ А між собою або із зовнішньою мережею;
- автоматична підтримка двигуна в готовності до швидкого прийому навантаження;
- автоматизований екстрений пуск і остановка;

Генератор синхронний типу Leroy Somer LSA 46.2 VL12, трьохфазний із статичною системою збудження, автоматичним регулюванням напруги, одноопорний, щітковий.

Основні технічні характеристики ТУВ

Теплообмінник утилізаційний водогрійний конструктивно виконаний одноступеневим, водотрубним, двооходовим по воді, теплообмінні трубки оребрені, сталевалюмінієві. Теплообмінник складається із чотирьох секцій, з'єднаних поміж собою послідовно по ходу випускних газів.

Циркуляція води в системі охолодження двигуна виконується навісним водяним насосом двигуна ($Q = 27 \text{ м}^3/\text{год}$, $H = 18 \text{ м. вод. ст.}$)

Для обліку тепла, що відводиться від двигуна і подається споживачам використовується лічильник тепла СВТУ-10М.

Для обліку витрати газу двигун-генератором використовується лічильник GMS-G160.

Постачання повітря для пуску газового двигуна

Для пуску двигуна передбачена система стиснутого повітря, яка містить в собі:

- електричний компресор автоматизований LT-40 для отримання і нагнітання в балон стиснутого повітря із автоматичною підтримкою тиску в ньому ($p = 3 \text{ МПа}$);
- балон стиснутого повітря ($V = 200 \text{ л}$);
- трубопроводи і арматура.

Система прийому, зберігання та заміни масла

					ПННІ НУК 142.41.25.03 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Система прийому, зберігання та подачі масла

Для забезпечення поточної витрати масла в проєкті передбачено встановлення бака запасу масла об'ємом 600 л.

Подача масла в бак здійснюється насосом типу НМШ 5-25-4,0/4 з пересувної ємності.

Протипожежні заходи

Будівля, в якій розміщується когенераційна установка, має:

I ступінь вогнестійкості;

Категорію виробництва – “Г”;

Підвал відсутній.

Передбачено безпечну евакуацію людей у разі пожежі — будівля обладнана двома рознесеними евакуаційними виходами.

Усі конструктивні елементи виконані з негорючих матеріалів. Встановлені легкоскидальні конструкції (віконні прорізи) для аварійного тисковідведення.

Газопостачання

В якості палива для газового двигун-генератора використовується природний газ.

Максимальна витрата газу при номінальному навантаженні становить 74 м³/год.

Підключення передбачається до діючого газопроводу.

Діаметр запроектованого газопроводу визначається гідравлічним розрахунком на пропускання максимальної витрати.

Свічки продувочного та скидного трубопроводу виведені на 1 м вище рівня даху. Для обліку витрати газу встановлено лічильник типу GMS-G160.

Опалення та вентиляція

Опалення приміщення когенераційної установки передбачається із розрахунку:

компенсації тепловтрат через огорожувальні конструкції;

					ПННІ НУК 142.41.25.03 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

забезпечення нормованої температури повітря за рахунок нагріву вентиляційного повітря.

У робочий час підтримка температури в приміщенні здійснюється за рахунок тепловиділення від працюючого двигун-генератора.

У період монтажу або ремонтних робіт температура підтримується за допомогою тепловентилятора з електропідігрівом.

В приміщенні когенераційної установки передбачається приточно-витяжна вентиляція із механічним та природним примусом. Загальнообмінна витяжна вентиляція із природним примусом із трьохкратним обміном повітря за годину передбачається із верхньої зони. На додаток до природньої витяжки передбачена механічна. Для компенсації витяжки передбачена приточна вентиляція, як природна так і механічна. Приток повітря в приміщення виконується від вентилятора, на додаток до механічного притоку в теплу пору року передбачений природний через відкриті фрамуги вікон та ворота.

В холодну і перехідну пору року для запобігання подачі холодного повітря передбачено змішування зовнішнього і внутрішнього повітря, для чого передбачена перемичка.

Водопостачання і каналізація

Проектом передбачається двоконтурна система охолодження: охолоджувачем є оборотна вода, що охолоджується у вентиляторній градирні ГМП-20. Витрата води на підпитку градирні і теплової мережі – 1,5 м³/добу.

Джерелом водопостачання є діюча мережа водопроводу діаметром 100 мм.

Водопровід запроектований із сталевих труб діаметром 20 мм по ГОСТ 3262-75.

Дренажна вода із двигун-генератора при ремонтах скидається в запроектовану мережу виробничої каналізації із чавунних каналізаційних труб діаметром 100 мм.

					ПННІ НУК 142.41.25.03 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Електро - технічні рішення

Паралельна робота ДвГА-230 із електричною мережою Обленерго забезпечується комплектним електрообладнанням двигун-генератора – збуджуючим пристроєм УВГС, низьковольтним пристроєм УКН-400.

Основним споживачем електроенергії є допоміжне технологічне обладнання – маслonaсос сітьовий, підпиточний і циркуляційний насоси, сантехнічна вентиляція і освітлення, вентилятор градирні, щит КВП і прибор пожежного контролю, електроосвітлення.

Розподіл електроенергії до цих споживачів виконується від щита власних потреб (ЩВП) – силового шкафа із автоматами серії ПР11 підключеного до УКН-400.

Електричні мережі до допоміжного обладнання виконуються дротами АВВГ, прокладеними по стінам на дужках. Силові мережі і контрольні ланцюги двигун-генератора, комплектного збуджуючого пристрою УВГС і низьковольтного комплектного щита УКН-400 виконуються дротами ВВГ, КВВГ, прокладеними в канаві.

Проектом передбачене робоче, аварійне і ремонтне освітлення. Аварійне освітлення виконано вибухозахищеними світильниками, що вмикаються зовні і служить для включення освітлення після перерви в роботі, крім того в районі щитів передбачений стаціонарний акумуляторний світильник із під зарядним пристроєм.

В якості джерела світла для робочого освітлення вибрані газорозрядні лампи, для аварійного – лампи розжарювання.

Напруга мережі загального освітлення 380/220 В, на світильниках – 220 В, ремонтного – 36 В.

Для захисту людей від враження електричним струмом при пошкодженні ізоляції передбачається захисне занулення і заземлення всіх не струмоведучих частин електрообладнання, металевих корпусів щитів, сталевих конструкцій електропроводки, повітряних трубопроводів, нульовими жилами дротів,

					ПННІ НУК 142.41.25.03 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

сталевими полосами 40·4 і 25·4 внутрішнього заземлення приміщення ДЕС.Проектований контур заземлення з'єднується із наявним контуром заземлення цеху.

Заземлення нейтралі генератора виконано з'єднанням його до контуру заземлення проектового приміщення ДЕС гнучким голим мідним дротом.

Захист від блискавки димової труби, продувочних свічок газопроводів забезпечується стержневим блискавкоприймачем, закріпленим на димовій трубі і з'єднаним із електродами зовнішнього контуру заземлення.

Пожежна сигналізація, газоаналіз і газове пожежогасіння

Пожежна сигналізація.

В якості приймально - контрольного пожежного приладу прийнятий прилад СА-4 із вбудованим блоком живлення і акумулятором. Прилад встановлений в приміщенні когенераційної установки. Напруга живлення -220 В, 50Гц, споживана потужність –5 Вт. Резервне живлення виконується від акумулятора, вмонтованого в прилад.

Автоматичні пожежні сигналізатори комбіновані ИПК-1 монтуються на трасі під стелею приміщення, що захищається, ручні (ИПР) на стінах на висоті 1,5 м від рівня підлоги. Світлозвуковий пристрій встановлюється на фасаді. Сигнал про пожежу передається на пульт чергового.

Газоаналіз

В проекті передбачається слідуєчий об'єм сигналізації:

а) безперервний контроль об'ємної частки природного газу у повітрі;

б) видача звукового і світлового сигналів про перевищення встановлених рівнів об'ємної частки природного газу у повітрі. Світлозвуковий пристрій встановлюється на фасаді. Сигнал про перевищення встановлених рівнів об'ємної частки природного газу у повітрі передається на пульт диспетчера.

Для контролю вибухонебезпечних концентрацій природного газу у повітрі використовується детектор витікання газу GS-133.

					ПННІ НУК 142.41.25.03 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Газове пожежегасіння

Для захисту від пожежі двигун-генератора передбачена локальна автоматична установка газового пожежегасіння, що працює як в автоматичному так і в ручному режимі. Ручний (місцевий) пуск виконується із приміщення когенераційної установки.

Установка автоматичного пожежегасіння забезпечує знаходження місця запалювання і подачу сигналу про пожежу, спрацювання установки і випуск вогнегасного матеріалу над устаткуванням що захищається і тушіння пожежі в початковій стадії горіння.

Облік витрат природного газу передбачається лічильником GMS-G160, а облік теплової енергії, що виробляється установкою тепловодолічильником СВТУ-10М.

Контроль складу димових газів від ДвГА-230 виконується переносним газоаналізатором.

1.2 Опис конструкції двигуна-прототипу

Дизелі ряду 6Ч 18/22 чотиритактні, простого дії, вертикальні, однорядні з напіврозділеною камерою згорання (камера в поршні), нереверсивні випускаються декількох модифікацій. Залежно від призначення дизелі мають деякі конструктивні відмінності: дизелі без наддування – 6Ч 18/22, з наддуванням - 6ЧН 18/22 для привода генератора потужністю відповідно 155 і 225 кВт; дизелі з реверс-редукторною передачею.

Фундаментна рама дизеля лита, із чавуну, коробчатої форми. Рама має поперечні перегородки з розточеними постелями для нижніх вкладишів корінних підшипників. Корінних підшипників сім; останній підшипник розширений для прийняття додаткового навантаження від ваги маховика.

Нижня частина рами є збірником і резервуаром масла. У нижній частині передньої торцевої стінки рами розташована пробка для зливу масла, а на передній стінці, крім того, є два люки із фланцем для підключення

					ПННІ НУК 142.41.25.03 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

усмоктувального трубопроводу резервного масляного насоса й для підключення нагнітального трубопроводу резервного масляного насоса.

На бічних стінках фундаментної рами є два отвори, заглушені фланцями, для відкачки масла з дизеля. У середині середньої нижньої частини рами на бобишках кріпиться масляний фільтр, якому можна виймати для чищення через оглядовий люк.

На зовнішніх бічних поверхнях уздовж рами є опорні лабети для кріплення дизеля до фундаменту й різьбові отвори під віджимні болти для центрування дизеля при монтажі. На верхній площині рами є канавки, у які покладений

гумовий шнур 15, що забезпечує ущільнення між рамою й блоком циліндрів.

Вентиляція картера незалежна, виробляється в атмосферу через шостий оглядовий лючок, розташований з боку вихлопу. Лючок має фланець для приєднання вентиляційного трубопроводу. Вентиляційні труби повинні виводитися на верхню відкриту палубу й мати вогневі запобіжники й пристрої, що не допускають влучення води в дизель. Об'єднання вентиляційних труб декількох дизелів не допускається.

Блок циліндрів цільний, відлитий із чавуну. Він кріпиться до фундаментної рами чотирнадцятьма силовими шпильками й двадцятьма шістьма болтами по краях для ущільнення стику. Шість циліндрових втулок - вставні, відлиті із чавуну із присадкою нікелю й хрому. Ущільнення водяної порожнини в місцях запресовування втулок досягається у верхній частині притисненням притертого буртика втулки до блоку, унизу - трьома ущільнювальними гумовими кільцями, покладеними в канавки втулок. Простір між циліндровими втулками й стінками блоку є сорочкою для охолодної води.

Кришки циліндрів відлиті із чавуну. Кришка циліндрів має усмоктувальні й вихлопний клапани однакової конструкції, виготовлені з жаростійкої сталі. Клапани переміщуються в напрямних втулках, запресованих у кришку циліндра. Сідла клапанів також запресовані в кришку.

					ПННІ НУК 142.41.25.03 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Повітрязбирач із автоматичною повітряною заслінкою змонтований на алюмінієвій плиті. Автоматична повітряна заслінка виконує роль граничного вимикача й забезпечує захист дизеля від розносу.

Випускний колектор звареної конструкції, ізольований, неохолоджуваний. Випускний колектор обгороджений захисним кожухом для запобігання обслуговуючого персоналу від опіків.

Колінчатий вал з маховиком сталевий, цільнокований, має шість шатунних і сім корінних шийок. Коліна вала розташовані під кутом 120° друг до друга, причому перше коліно по напрямку збігається із шостим, друге — з п'ятим, третє — із четвертим. У кожному коліні є косе свердління (масляний канал), що з'єднує радіальний отвір у корінних і шатунних шейках вала. Отвори призначені для підведення масла до шатунних шийок і до верхньої головки шатуна через отвори в ньому. Четверта корінна шийка є упорною. До фланця заднього кінця колінчатого вала за допомогою контрольних штифтів і болтів закріплено маховик.

Поршень чавунний, суцільнолитий. У днищі поршня є камера згоряння об'ємом $325 \pm 5 \text{ см}^3$. У кільцевих канавках поршня розміщені чотири компресійних, одне здвоєне й одне одинарне маслосховище хромовані кільця. Одинарне маслосховище без радіусних фрезерувань розташовано вище пальця, здвоєні маслосховища з радіусними фрезеруваннями - нижче. Маслосховища встановлюються меншою торцевою поверхнею вниз, тобто шкребком нагору. Поршень з'єднується із шатуном за допомогою порожнього сталевих цементованого й загартованого пальця 5 плаваючого типу. Від осевих переміщень палець утримується стопорними кільцями 6. На поверхні поршня, навколо отворів для пальця, розташовані поглиблення - холодильники.

Шатун має верхню головку, стрижень і нижню (шатунну) головку. Стрижень шатуна двотаврового перетину має глухий некрізний центральний отвір і два бічних свердління в нижній головці для підведення змащення до головного підшипника. У верхню головку запресована бронзова втулка. Нижня

					ПННІ НУК 142.41.25.03 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

головка шатуна рознімна, скріплюється двома болтами. У нижній головці розміщені верхній і нижній вкладиші з біметалічної смуги, плакованої сплавом АСМ.

Розподільний вал зібраний із двох частин, з'єднаних між собою болтами й гайками. Вал обертається в сімох підшипниках, гнізда яких розташовані в бічній частині блоку циліндрів. Розподільний вал має усмоктувальні «а» і вихлопні «b» кулачки для кожного циліндра. Кулачки виконані за одне ціле з розподільним валом. На передній кінець розподільного вала насаджені упорна втулка й шестірня привода розподільного вала.

					ПННІ НУК 142.41.25.03 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1 Вимоги до проектованого двигуна та вибір вихідних даних робочого циклу.

Для забезпечення економічності роботи двигуна необхідно приділити увагу всім параметрам, що впливають на витрату палива та мастила.

Крім опрацювання параметрів робочого циклу, що забезпечують високий ефективний ККД, необхідно також раціонально сконструювати допоміжні системи двигуна, обрати оптимальні режими охолодження, змащування, наддуву тощо.

Надійність двигуна досягається завдяки грамотному конструктивному виконанню. Розрахунки на міцність основних деталей корпусу та кривошипно-шатунного механізму повинні бути виконані відповідно до допустимих значень сил та напружень, що виникають під час роботи. Також необхідно враховувати умови експлуатації, зокрема зміну навантаження, температури, пускові режими тощо.

Шумові характеристики повинні відповідати сучасним вимогам. Це досягається шляхом: встановлення глушників шуму; застосування конструктивних рішень щодо зниження шуму у вузлах двигуна (наприклад, шестерні з косими зубами, демпфуючі опори тощо).

Токсичність вихлопних газів повинна бути мінімізована шляхом правильного підбору: параметрів згоряння палива; кута випередження впорскування; коефіцієнта надлишку повітря.

При проектуванні конструкції двигуна слід передбачити:

зручний доступ до основних вузлів для обслуговування та ремонту; взаємозамінність основних деталей; можливість демонтажу поршня з шатуном через гільзу циліндра; мінімальне захащення трубопроводами, уникнення зайвих навішаних елементів, які доцільніше винести за межі двигуна.

					ПННІ НУК 142.41.25.03 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Загалом, завдяки комплексному підходу до конструювання, детальному опрацюванню на стендових випробуваннях і під час експлуатації, можна досягти рівня, що відповідає вимогам сучасного двигунобудування.

Особливості вибору параметрів двигуна для електростанції

Оскільки двигун застосовується у складі когенераційної електростанції, основними визначальними параметрами є: Потужність двигуна, що повинна забезпечувати необхідний рівень електричної енергії для споживача; Частота обертання колінчастого вала, яка має відповідати вимогам підтримання стабільної частоти струму 50 Гц; Система автоматичного регулювання частоти обертання повинна забезпечувати стійку роботу двигуна на всіх режимах навантаження без просадок або перенапруг.

Таким чином, при проектуванні двигуна для електрогенератора першочергове значення мають енергетичні, надійнісні та екологічні характеристики, які формуються як за рахунок вибору параметрів робочого циклу, так і через якісні інженерні рішення на етапі конструктивного опрацювання.

Вихідні дані для розрахунку двигуна, що проектується в даному дипломному проекті:

- потужність двигун-генератора – 230 кВт;
- паливо – генераторний газ
- призначення – стаціонарна електростанція.

					ПННІ НУК 142.41.25.03 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2 Розрахунок робочого процесу газового двигуна.

1. Умова завдання:

Ефективна потужність	$P_e =$	230	кВт
Частота обертання колінчастого валу.	$n =$	1000	хв ⁻¹
Діаметр циліндра	$d =$	180	мм
Хід поршня	$S =$	220	мм
Ступінь стиску	$\varepsilon =$	12,1	
Коефіцієнт надлишку повітря	$\alpha =$	1,85	
Число циліндрів	$i =$	6	
Коефіцієнт тактності	$z =$	4	

2. Вихідні дані для теплового розрахунку.

Тиск наддуву	$p_b =$	180	кПа
Тиск навколишнього середовища	$p_a =$	101,3	кПа
Температура навколишнього середовища	$T_a =$	293	К
Показник політропи стиску для відцентрового компресора	$n_k =$	1,6	
Підігрів свіжого заряду	$\Delta T =$	5	К
Тиск залишкових газів	$p_r =$	200	кПа
Температура залишкових газів	$T_r =$	750	К
Ступінь підвищення тиску	$\lambda =$	2,5	
Середнє значення показника політропи:			
стиску	$n_1 =$	1,31	
розширення	$n_2 =$	1,30	
Коефіцієнт використання теплоти в точці "Z"	$\xi_z =$	0,8	
Коефіцієнт повноти індикаторної діаграми	$\xi =$	0,9	
Нижча теплота згорання газу	$Q_H =$	36590	кДж/м ³
Природний газ			

Склад:	в %	В об'ємних долях
метан	$CH_4 =$	95,4 $R_{CH_4} =$ 0,954
етан	$C_2H_6 =$	2,6 $R_{C_2H_6} =$ 0,026
пропан	$C_3H_8 =$	0,3 $R_{C_3H_8} =$ 0,003
бутан	$C_4H_{10} =$	0,2 $R_{C_4H_{10}} =$ 0,002
пентан	$C_5H_{12} =$	0,2 $R_{C_5H_{12}} =$ 0,002
вуглекислота	$CO_2 =$	0,2 $R_{CO_2} =$ 0,002
оксид вуглецю	$CO =$	0 $R_{CO} =$ 0
азот	$N_2 =$	1,1 $R_{N_2} =$ 0,011

2.3 Побудова індикаторної діаграми

Розрахунок теоретичної індикаторної діаграми

Вихідні дані:

Середній індикаторний тиск	$P_{mi} = 1,122 \text{ МПа}$
Тиск в кінці впуску	$P_d = 0,166 \text{ МПа}$
Показник політропи стиску	$n_1 = 1,34$
Ступінь стиску	$\varepsilon = 10,5$
Максимальний тиск в циліндрі	$P_{max} = 10, \text{ МПа}$
Показник політропи розширення	$n_2 = 1,28$
Ступінь попереднього розширення	$\rho = 1$
Маштаб по осі тиску	$m_p = 0,05 \text{ МПа/мм}$

Розрахунок лінії стиску.

$$P_{ст} = \frac{P_d \times \varepsilon^{n_1}}{\left(\frac{V}{V_c}\right)^{n_1}}, \text{ МПа}$$

де V/V_c – змінний об'єм.

$$P_{ст_1} = \frac{0,166 \times 10,5^{1,34}}{1^{1,34}} = 3,88 \text{ МПа}$$

$$P_{ст_{10,5}} = \frac{0,166 \times 10,5^{1,34}}{10,5^{1,34}} = 0,166 \text{ МПа}$$

Розрахунок лінії розширення.

$$P_{роз} = \frac{P_{max} \times \rho^{n_2}}{\left(\frac{V}{V_c}\right)^{n_2}}, \text{ МПа}$$

$$P_{роз_1} = \frac{10,011 \times 1^{1,28}}{1^{1,28}} = 10,011 \text{ МПа}$$

$$P_{роз_9} = \frac{10,011 \times 1^{1,28}}{10,5^{1,28}} = 0,493 \text{ МПа}$$

Результати розрахунків зводимо в таблицю 2.1.

					ПІННІ НУК 142.41.25.03 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.1 Результати розрахунків теоретичної індикаторної діаграми

V/V_c	$P_{ст}, \text{МПа}$	$P_{ст}, \text{мм}$	$P_{роз}, \text{МПа}$	$P_{роз}, \text{мм}$
1	4,433	88,6	10,919	218,4
2	1,787	35,7	4,434	88,7
3	1,051	21	2,618	52,3
4	0,721	14,4	1,801	36
5	0,538	10,7	1,347	26,9
6	0,424	8,5	1,063	21,2
7	0,346	6,9	0,87	17,4
8	0,290	5,8	0,731	14,6
9	0,249	4,9	0,628	12,5
10	0,217	4,3	0,547	10,9
11	0,191	3,8	0,483	9,6
12	0,171	3,4	0,432	8,6
$P_{mi}^{\text{д}} = 0,975$				

Об'єм камери згорання

$$V_c = \frac{V_s}{\varepsilon - 1}, \text{мм}$$

де $V_s = [AB] = 220 \text{ мм}$ – приведений робочий об'єм

$$V_c = \frac{190}{10,5-1} = 20 \text{ мм}$$

Похибка середнього індикаторного тиску.

$$\Delta P_{mi} = \frac{|P_{mi} - P_{mi}^{\text{д}}|}{P_{mi_{cp}}} \times 100\%$$

$$P_{mi_{cp}} = \frac{P_{mi} + P_{mi}^{\text{д}}}{2}, \text{МПа}$$

$$P_{mi_{cp}} = \frac{0,936 + 0,975}{2} = 0,956 \text{ МПа}$$

$$\Delta P_{mi} = \frac{|1,936 - 0,975|}{0956} \times 100\% = 4,08\%$$

Похибка не перевищує 5%

					ПННІ НУК 142.41.25.03 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

Розрахунок дійсної індикаторної діаграми

Кут випередження.

$$\alpha' = 20^\circ$$

Кут затримки згоряння

$$\Delta\phi_1 = 0^\circ$$

α'' – точка тиску газів в ВМТ в кінці такту стиску.

$$P_{c''} = 1,2 \times P_c = 1,2 \times 4,433 = 5,319 \text{ МПа}$$

$$P_{c''} = 106,4 \text{ мм}$$

Максимальний тиск газів.

$$P_{zd} = 0,85 \times P_{\max} = 0,85 \times 10,919 = 9,28 \text{ МПа}$$

$$P_{zd} = 185,6 \text{ мм}$$

Кут після ВМТ де тиск максимальний

$$\Delta\phi_2 = 10^\circ$$

Точка відкриття випускного клапану

$$\alpha' = 130^\circ$$

Точка тиску газів в НМТ в кінці такту розширення – α'' , відкладається посередині лінії між точками α і d

Точка відкриття впускного клапану

$$\alpha' = 10^\circ$$

Точка закриття випускного клапану

$$\alpha'' = 30^\circ$$

Точка закриття впускного клапану

$$\alpha' = 150^\circ$$

Швидкість наростання тиску

$$\frac{\Delta P}{\Delta\phi_2} = \frac{P_{\max} - P_{c''}}{\Delta\phi_2}, \text{ МПа/град}$$

$$\frac{\Delta P}{\Delta\phi_2} = \frac{10,919 - 5,319}{10} = 0,56 \text{ МПа/град}$$

					ПІННІ НУК 142.41.25.03 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

Таблиця 2.2 Визначення точок дійсної індикаторної діаграми

Позначки точки φ° ПКВ	Положення точки відносно ВМТ, φ° ПКВ	Постійна $X = (1 - \cos \varphi) + \frac{\lambda_L}{4} \times (1 - \cos 2\varphi)$	Відстань від ВМТ до $X \times \frac{[AB]}{2}$, мм
С', до ВМТ	15	0,043	4,8
f, до ВМТ	5	0,005	0,5
$\Delta\varphi_2$, після ВМТ	10	0,019	2,1
e' , після ВМТ	130	1,724	189,7
r' , до ВМТ	10	0,019	2,1
r'' , після ВМТ	30	0,169	18,6
d' , до ВМТ	150	1,901	209,1

Побудова розгорнутої індикаторної діаграми

Радіус кривошипа

$$R = \frac{S}{2} = \frac{220}{2} = 110 \text{ мм}$$

Знаходимо поправку Брікса

$$OO' = \frac{R \times \lambda_L}{2}$$

$$OO' = \frac{110 \times 0,278}{2} = 15,3$$

Розраховуємо масштаб

$$M_s = \frac{S}{AB}$$

$$M_s = \frac{220}{220} = 1$$

Знаходимо поправку Брікса в масштабі переміщення

$$OO' = \frac{OO'}{M_s}, \text{ мм}$$

$$OO' = \frac{15,3}{1} = 15,3 \text{ мм}$$

2.4 Динамічний розрахунок двигуна

Маса деталей, що рухаються зворотно-поступально.

$$m_s = m_{пк} + \frac{1}{3} \times m_{ш}, \text{ кг}$$

де $m_{пк} = 14,65$ – маса поршневого комплекту, кг

$m_{ш} = 9,45$ – маса шатуна, кг

$$m_s = 14,65 + \frac{1}{3} \times 9,45 = 17,8 \text{ кг}$$

Маса деталей, що рухаються обертально.

$$m_R = \frac{2}{3} \times m_{ш}, \text{ кг}$$

$$m_R = \frac{2}{3} \times 9,45 = 6,3 \text{ кг}$$

Кутова швидкість

$$\omega = \frac{\pi \times n}{30}$$

$$\omega = \frac{3,14 \times 1000}{30} = 104,7 \text{ c}^{-1}$$

Сила тиску газу

$$F_r = P_u \times \frac{\pi \times d^2}{4}, \text{ кН}$$

Сила інерції мас, що рухаються зворотно-поступально

$$F_i = -m_s \times r \times \omega^2 \times (\cos \varphi + \lambda_L \times \cos 2 \times \varphi), \text{ кН}$$

Дійсна сила

$$F_d = F_r \pm F_i, \text{ кН}$$

Нормальна сила

$$F_n = F_d \times \operatorname{tg} \beta, \text{ кН}$$

Радіальна сила

$$F_r = F_d \times \frac{\cos(\varphi + \beta)}{\cos \beta}, \text{ кН}$$

					ПІННІ НУК 142.41.25.03 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Дотична сила

$$F_k = F_d \times \frac{\sin(\varphi + \beta)}{\cos \beta}, \text{ кН}$$

Сила інерції обертаючихся мас

$$F_{\text{іоб}} = -m_R \times r \times \varpi^2, \text{ кН}$$

$$F_{\text{іоб}} = -6,3 \times 0,110 \times 104,7^2 = -7,5 \text{ кН}$$

Дані розрахунків заносимо до таблиці 2.3 та будуємо графіки.

					ПННІ НУК 142.41.25.03 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

Таблиця 2.3 Результати динамічного розрахунку

φ ПКВ	Рц, мм	F _Г , кН	F _і , кН	F _д , кН	F _N , кН	F _r , кН	F _k , кН	F _Г ,мм	F _і ,мм	F _д ,мм	F _N ,мм	F _r ,мм	F _k ,мм	β
0	3,4	6,673	-60,34	-53,7	0	-53,67	0	4,5	-41,0	-36,5	0,0	-36,5	0,0	0,00
15	3,4	6,673	-57,08	-50,4	0	-47,84	0	4,5	-38,8	-34,2	0,0	-32,5	0,0	3,71
30	3,4	6,673	-47,84	-41,2	0	-33,06	0	4,5	-32,5	-28,0	0,0	-22,5	0,0	7,18
45	3,4	6,673	-34,13	-27,5	0	-15,93	0	4,5	-23,2	-18,7	0,0	-10,8	0,0	10,18
60	3,4	6,673	-18,1	-11,4	0	-3,52	0	4,5	-12,3	-7,8	0,0	-2,4	0,0	12,50
75	3,4	6,673	-2,043	4,63	0	0,0854	0	4,5	-1,4	3,1	0,0	0,1	0,0	13,97
90	3,4	6,673	12,068	18,74	0	-4,839	0	4,5	8,2	12,7	0,0	-3,3	0,0	14,48
105	3,4	6,673	22,945	29,62	0	-14,78	0	4,5	15,6	20,1	0,0	-10,0	0,0	13,97
120	3,4	6,673	30,17	36,84	0	-25,5	0	4,5	20,5	25,0	0,0	-17,3	0,0	12,50
135	3,4	6,673	34,134	40,81	0	-34,04	0	4,5	23,2	27,7	0,0	-23,1	0,0	10,18
150	3,4	6,673	35,771	42,44	0	-39,43	0	4,5	24,3	28,8	0,0	-26,8	0,0	7,18
165	3,4	6,673	36,176	42,85	0	-42,11	0	4,5	24,6	29,1	0,0	-28,6	0,0	3,71
180	3,4	6,673	36,204	42,88	0	-42,88	0	4,5	24,6	29,1	0,0	-29,1	0,0	0,00
195	3,4	6,673	36,176	42,85	0	-42,11	0	4,5	24,6	29,1	0,0	-28,6	0,0	-3,71
210	3,4	6,673	35,771	42,44	0	-39,43	0	4,5	24,3	28,8	0,0	-26,8	0,0	-7,18
225	3,4	6,673	34,134	40,81	0	-34,04	0	4,5	23,2	27,7	0,0	-23,1	0,0	-10,18
240	3,4	6,673	30,17	36,84	0	-25,5	0	4,5	20,5	25,0	0,0	-17,3	0,0	-12,50
255	3,4	6,673	22,945	29,62	0	-14,78	0	4,5	15,6	20,1	0,0	-10,0	0,0	-13,97

Продовження таблиці 2.3

φ ПКВ	R _ц , мм	F _Г , кН	F _і , кН	F _д , кН	F _N , кН	Fr, кН	F _k , кН	F _Г ,мм	F _і ,мм	F _д ,мм	F _N ,мм	Fr,мм	F _k ,мм	β
270	3,4	6,67	12,07	19	-4,84	-4,8	-18,74	4,53	8	12,7	-3,3	-3,3	-10,73	-14,48
285	8,9	17,47	-2,043	15,42	-3,84	0,2846	-15,89	11,9	-1,4	10,5	-2,6	0,2	-10,8	-13,97
300	12,9	25,32	-18,10	7,2	-1,6	2	-7,0	17,20	-12,3	4,9	-1,09	1,5	-4,79	-12,50
315	21	41,21	-34,13	7,079	-1,27	4,1064	-5,904	28,0	-23,2	4,8	-0,9	2,8	-4,0	-10,18
330	37,2	73,01	-47,84	25,17	-3,17	20,209	-15,33	49,6	-32,5	17,1	-2,2	13,7	-10,4	-7,18
345	66,7	130,9	-57,08	73,82	-4,79	70,065	-23,73	88,9	-38,8	50,2	-3,3	47,6	-16,1	-3,71
360	181	355,2	-60,34	294,9	-0	294,87	-7E-14	241,3	-41,0	200,3	0,0	200,3	0,0	0,00
375	164	321,9	-57,08	264,8	17,17	251,31	85,111	218,7	-38,8	179,9	11,7	170,7	57,8	3,71
390	92,2	180,9	-47,84	133,1	16,77	106,89	81,074	122,9	-32,5	90,4	11,4	72,6	55,1	7,18
405	52,4	102,8	-34,13	68,7	12,34	39,854	57,304	69,9	-23,2	46,7	8,4	27,1	38,9	10,18
420	32,3	63,39	-18,1	45,29	10,04	13,946	44,241	43,1	-12,3	30,8	6,8	9,5	30,1	12,50
435	22,2	43,57	-2,043	41,52	10,33	0,7662	42,784	29,6	-1,4	28,2	7,0	0,5	29,1	13,97
450	16,5	32,38	12,068	44,45	11,48	-11,48	44,449	22,0	8,2	30,2	7,8	-7,8	30,2	14,48
465	13,3	26,1	22,945	49,05	12,21	-24,48	44,216	17,7	15,6	33,3	8,3	-16,6	30,0	13,97
480	11,2	21,98	30,17	52,15	11,57	-36,09	39,381	14,9	20,5	35,4	7,9	-24,5	26,8	12,50
495	9,7	19,04	34,134	53,17	9,55	-44,35	30,844	12,9	23,2	36,1	6,5	-30,1	21,0	10,18
510	8,1	15,9	35,771	51,67	6,509	-48	20,196	10,8	24,3	35,1	4,4	-32,6	13,7	7,18
525	7,3	14,33	36,176	50,5	3,275	-49,63	9,908	9,7	24,6	34,3	2,2	-33,7	6,7	3,71

Продовження таблиці 2.3

φ ПКВ	R _ц , мм	F _Г , кН	F _i , кН	F _d , кН	F _N , кН	F _r , кН	F _k , кН	F _Г ,мм	F _i ,мм	F _d ,мм	F _N ,мм	F _r ,мм	F _k ,мм	β
540	6	11,78	36,204	47,98	0,00	-47,98	0,00	8,0	24,6	32,6	0,0	-32,6	0,0	0,00
555	4,3	8,439	36,176	44,62	-2,89	-43,84	-8,753	5,7	24,6	30,3	-2,0	-29,8	-5,9	-3,71
570	3,6	7,065	35,771	42,84	-5,4	-39,8	-16,7	4,8	24,3	29,1	-3,7	-27,0	-11,4	-7,18
585	3,4	6,673	34,134	40,81	-7,33	-34,04	-23,67	4,5	23,2	27,7	-5,0	-23,1	-16,1	-10,18
600	3,4	6,673	30,17	36,84	-8,17	-25,5	-27,82	4,5	20,5	25,0	-5,6	-17,3	-18,9	-12,50
615	3,4	6,673	22,945	29,62	-7,37	-14,78	-26,7	4,5	15,6	20,1	-5,0	-10,0	-18,1	-13,97
630	3,4	6,673	12,068	18,74	-4,84	-4,839	-18,74	4,5	8,2	12,7	-3,3	-3,3	-12,7	-14,48
645	3,4	6,673	-2,043	4,63	-1,15	0,0854	-4,77	4,5	-1,4	3,1	-0,8	0,1	-3,2	-13,97
660	3,4	6,673	-18,1	-11,4	2,535	-3,52	11,166	4,5	-12,3	-7,8	1,7	-2,4	7,6	-12,50
675	3,4	6,673	-34,13	-27,5	4,932	-15,93	22,906	4,5	-23,2	-18,7	3,4	-10,8	15,6	-10,18
690	3,4	6,673	-47,84	-41,2	5,187	-33,06	25,075	4,5	-32,5	-28,0	3,5	-22,5	17,0	-7,18
705	3,4	6,673	-57,08	-50,4	3,268	-47,84	16,203	4,5	-38,8	-34,2	2,2	-32,5	11,0	-3,71
720	3,3	6,476	-60,34	-53,9	7E-15	-53,86	3E-14	4,4	-41,0	-36,6	0,0	-36,6	0,0	0,00

2.5 Розрахунок теплового балансу

Вихідні дані:

ефективна потужність двигуна	$P_e =$	233,3 кВт
частота обертання колінвалу	$n =$	1000 хв-1
діаметр циліндру	$D =$	180 мм
хід поршня:	$S =$	220 мм
число циліндрів:	$i =$	8
коефіцієнт тактності:	$Z =$	4
нижча теплота згорання газу:	$Q_H =$	36590 кДж/кг
годинна витрата газу:	$B_r =$	69,2 $m^3 / год$
Індикаторний к.к.д.:	η_i	0,37
ефективний к.к.д.:	η_e	0,33
кількість свіжого заряду	$M_1 =$	18,998 кмоль/кг
загальна кількість продуктів згорання	$M_r =$	19,029 кмоль/кг
температура випускних газів	$T_{ср.г.} =$	727,4 К
температура на початку стиску	$T_d =$	344,6 К
мольна теплоємність продуктів згорання при постійному об'ємі:	$mC''_v =$	23,85 кДж/(кмоль*К)
мольна теплоємність свіжого заряду при постійному об'ємі:	$mC'_v =$	21,82 кДж/(кмоль*К)
середній індикаторний тиск:	$P_{mi} =$	956,12 кПа

Рівняння теплового балансу.

Загальна кількість теплоти, введеної в двигун з паливом

$$Q_{II} = Q_e + Q_B + Q_r + Q_M + Q_{н.в.}$$

де Q_e - теплота, еквівалентна ефективній роботі;
 Q_B - теплота, яка відводиться охолоджувальною рідиною;
 Q_r - теплота, яка виноситься випускними газами;
 Q_M - теплота, яка відводиться маслом;
 $Q_{н.в.}$ - невраховані теплові втрати.

Теплота, яка підводиться в циліндр двигуна з паливом:

$$Q_{II} = B \cdot Q_H / 3600$$

$$Q_{II} = 703,3 \text{ кВт}$$

у відсотковому відношенні q_{II} приймаємо за 100%

Теплота, еквівалентна ефективній роботі двигуна:

$$Q_e = 1000 \cdot P_e$$

$$Q_e = 233,3 \text{ кВт}$$

у відсотковому відношенні

3. НАУКОВИЙ РОЗДІЛ

3.1 Опис та аналіз конструкцій поршнів

Поршень є однією з найбільш відповідальних і напружених деталей двигунів внутрішнього згоряння, як чотиритактних, так і особливо двотактних. Він сприймає навантаження від тиску газів, сил інерції, а також теплові навантаження, які виникають у результаті контакту днища з гарячими газами, головним чином у фазах згоряння та розширення.

Додатково корпус поршня нагрівається внаслідок тертя його бокової поверхні об стінку циліндра. Через це днище поршня піддається значному нагріванню, що може знижувати міцність матеріалу, погіршувати умови змащування, а в карбюраторних двигунах – сприяти детонації. Передача тепла від поршня до інших елементів двигуна здійснюється: через поршневі кільця та юбку – до стінок циліндра; через внутрішні поверхні днища і стінок – до картера і мастила; через поршковий палець – до шатуна.

У зв'язку з багатофункціональністю поршня, до матеріалів, з яких він виготовляється, висуваються високі вимоги щодо міцності, теплопровідності, зносостійкості, ливарних властивостей і стабільності розмірів при нагріванні.

Матеріали для виготовлення поршнів

1. Чавун і сталь

Чавун є традиційним і широко застосовуваним матеріалом для виготовлення поршнів. Зокрема, використовуються марки:

СЧ25, СЧ28, СЧ32 – для звичайних навантажень; ВЧ50-2 – високоміцний легований чавун для напружених вузлів.

Для підвищення механічних властивостей застосовують легування елементами: ванадій, титан, мідь, хром. Переваги чавуну та сталі: висока міцність та зносостійкість; низький коефіцієнт лінійного розширення, що забезпечує стабільність зазорів.

2. Легкі сплави (переважно алюмінієві)

					ПННІ НУК 131.61.24.25 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Найпоширеніші алюмінієві сплави: литі: АЛ1, АЛ10В, АЛ19, В300; деформовані: АК2, АК4, АК4-1, Д20. Найкращі властивості при температурах вище 300 °С мають сплави Д20.

Алюмінієві сплави (мідно- та кремнійалюмінієві) мають: високу теплопровідність (у 3–3,5 раза вищу, ніж у чавуну); меншу масу (на 30–50 % легші за чавунні поршні); низьку температуру поршня в роботі (250–350 °С проти 400–450 °С для чавуну); покращений коефіцієнт наповнення; зниження детонаційної схильності (важливо для бензинових двигунів); менше нагароутворення і тертя.

Однак, легкі сплави мають і недоліки: великі зазори в холодному двигуні викликають стукіт поршня, що підвищує зношування; гірші механічні характеристики порівняно з чавуном і сталлю; нижча теплостійкість; швидше зношування гнізд поршневого пальця та канавок для кілець; вища собівартість виготовлення.

Сучасні конструкції поршнів

У новітніх розробках широко застосовуються поршні складеної конструкції, у яких: головка поршня, що містить поршневі кільця, виготовляється з жаростійкого чавуну або сталі; основна частина корпусу виконується з легкого сплаву.

Це дозволяє поєднати високу жароміцність з низькою масою, що важливо при високонавантажених та швидкохідних режимах. Застосування сталевих поршнів поки що обмежене через їхню складність обробки та високу вартість, однак вони демонструють найкращі результати при високих температурах.

Якщо ви хочете, я можу підготувати: таблицю порівняння матеріалів для поршнів; графічну ілюстрацію конструкції поршня (у вигляді схеми); або математичний розрахунок маси поршня для конкретного типу двигуна.

3.2 Вибір конструкції проектного поршня

Конструктивна форма днища поршня

					ПННІ НУК 131.61.24.25 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Одним із найбільш частих дефектів поршнів слід вважати перегрів днища, який визиває відпуск матеріалів, погіршення механічних властивостей та втрату твердості. Періодична дія сил тиску газів разом з вказаним перегрівом визиває появу мілких тріщин, що призводять до руйнування днища. Температура поршнів залежить від параметрів процесу та конструкції двигуна. Значний вплив на температуру поршня мають конструкції гільз (втулок) та спосіб їх з'єднання з блоком циліндрів. Найбільш інтенсивного охолодження можна досягнути при мокрих гільзах. Значний вплив на розподіл температур в голівці поршня має також розташування передкамер та вихрових камер.

Велике значення для надійної роботи поршня має обрис днища. Форма днища визначається в першу формою камери згоряння, пов'язаною із способом сумішоутворення, розташуванням клапанів в кришці (головці), а в двотактних двигунах – і з системою газорозподілу.

На рисунку 3 показані найбільш розповсюджені форми днищ, що застосовуються в форсованих двигунах (дизелях). Плоскі днища застосовують в двигунах із запалюванням від стиску, головним чином в передкамерних та вихрокамерних (а також в двигунах із зовнішнім сумішоутворенням). Днище, виконане по схемі рис.4,а має підвищену жорсткість. Для даної конструкції характерна менша можливість утворення масляного нагару. Подібні днища застосовують в однокамерних та багатоканерних двигунах із запалюванням від стиску, а також у двигунах із зовнішнім сумішоутворенням. При такій конструкції днища можна в тій або іншій мірі придати необхідне направлення потоку повітря.

Днище, що виконане по схемі рис.4,б утворює сприятливу форму камери згоряння, що наближається до шарової, при безпосередньому впорскуванні. Ці

днища застосовують головним чином в чотиритактних двигунах як із внутрішнім, так із зовнішнім сумішоутворенням та в деяких конструкціях двохтактних двигунів.

Днище поршня, що показане на рис.4,в, утворює камеру згоряння, близької по формі до факелу розпилюваного палива. Такі днища застосовують при

					ПННІ НУК 131.61.24.25 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

безпосередньому впорскуванні в двигунах із запалюванням від стиску як в чотиритактних, так і в двотактних при прямоточній продувці. В такій конструкції розпилене паливо не попадає на стінки циліндру, що покращує його витрату та попереджує попаданню його в мастило.

Днище, що показане на рис.4,г сприяє поліпшенню сумішоутворення. Однак при такій формі необхідні спеціальні конструктивні заходи для підвищення надійності днища. Цю конструкцію застосовують в основному в чотиритактних двигунах із запалюванням від стиску з безпосереднім впорскуванням.

Днище, що виконане по схемі рис.4,д відрізняється формою, що сприяє покращенню сумішоутворення. Інколи камери згоряння, що розташовані в поршні, зміщують в сторону для забезпечення тангенціального напрямку повітря, яке збільшує швидкість вихру. Але при цьому маємо нерівномірний розподіл температур в голівці поршня.

Днище, показане на рис.4,е, завдяки більш простій формі відрізняється підвищеною надійністю, ніж днища показані на рис.3,г,д. Таку конструкцію застосовують головним чином в чотиритактних двигунах із запалюванням від стиску.

					ПННІ НУК 131.61.24.25 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

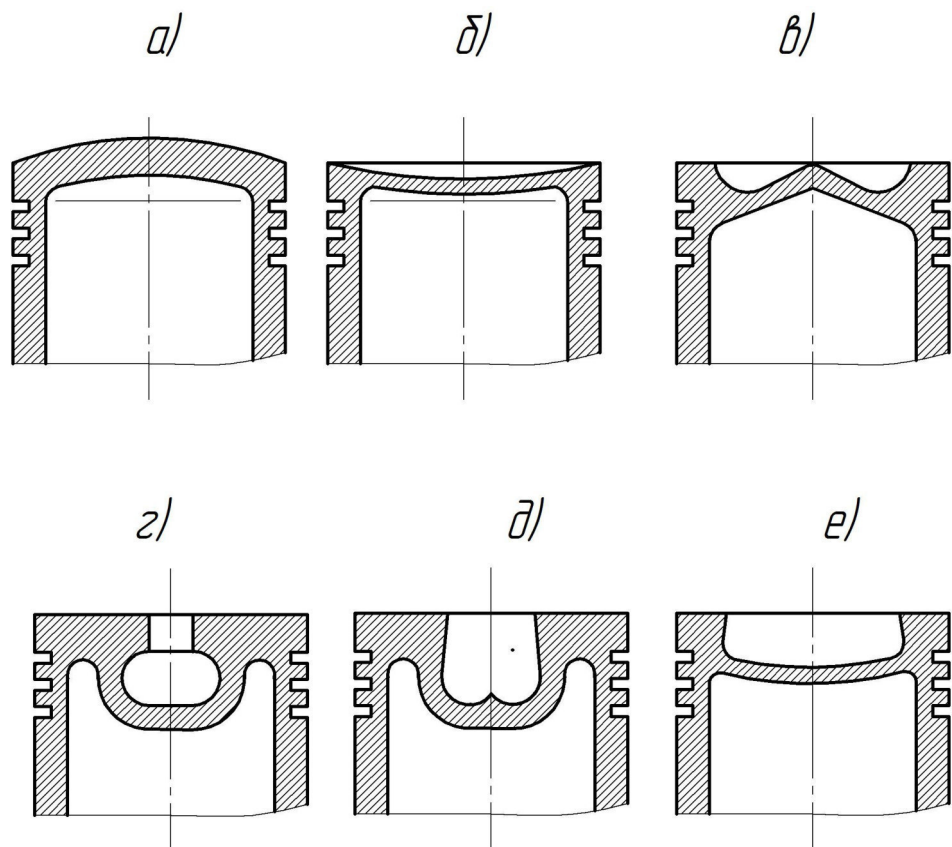


Рисунок 4.1 Форми днищ поршня

3.2.2 Форма поршня

Форма корпусу поршня та його основні розміри визначаються в першу чергу умовами відведення тепла, що надходить від камери згоряння. Поршні виконують монолітними та складеної конструкції. Одні та другі можуть бути без охолодження та з охолодженням.

При конструюванні поршня необхідно прагнути до того, щоб він мав просту циліндричну, по можливості симетричну форму відносно вісі циліндру. Перехід від днища до стінок необхідно виконувати з великими радіусами закруглення для забезпечення рівномірної теплової загрузки в розрізах головки поршня. В напружених конструкціях бобишки зв'язують з днищем поздовжніми та поперечними ребрами. В легких двигунах великої потужності часто бобишки з'єднують безпосередньо з днищем, що полегшує штамповку внутрішньої поверхні поршнів.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Для зменшення температурних напружень раціонально застосовувати днища без ребер. Ребра ускладнюють виготовлення поршня та можуть служити причиною появи внутрішніх напружень в матеріалі.

Компресійні кільця застосовують в кількості від 2 до 6, в залежності від швидкохідності, а також від величини максимального тиску згоряння. Компресійні кільця не слід розміщувати близько до днища, так як внаслідок цього збільшується їх теплова напруженість, а особливо першого кільця, але віддалення кілець від днища приводить до збільшення загальної довжини бокової поверхні та висоти поршня. Це особливо необхідно враховувати при проектуванні легких малогабаритних двигунів, так як віддалення пальця від днища обумовлює збільшення габаритних розмірів двигуна в напрямку вісі циліндру.

Для двигунів тихохідних та середньої швидкохідності, коли технічними вимогами не передбачується особливо малі габаритні розміри двигунів, довжину поршня визначають, в основному враховуючи величину допустимого бокового тиску.

Для швидкохідних малогабаритних чотиритактних двигунів (з малим ресурсом) в першу чергу враховують можливість розміщення основних елементів конструкції: компресійних кілець, перемичок поміж ними, поршневого пальця з бобиками та маслоз'ємних кілець.

Практично пояс, що несе поршневі кільця, не приймає участі в передачі бокових сил: поверхня перерізна канавками. Наявність канавок не дозволяє також створити стійку масляну плівку. Величину зазору поміж цією частиною поршня та стінками циліндру вибирають із умови захисту поршневих кілець від дії гарячих газів, з однієї сторони, та з умови попередження попадання масла в камеру згоряння – з другої сторони. При цьому враховують температурні деформації корпусу поршня та стінок втулки циліндру. Зазор поміж юбкою поршня та стінками циліндру при роботі вибирають із розрахунку вільного переміщення поршня та його можливості встановлюватися (в деяких межах) під дією сил, що розвиваються в масляному шарі поміж поршнем та циліндром. Для

					ПННІ НУК 131.61.24.25 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зменшення тертя бажано збільшувати зазор, але це приводить до зростання витрати масла, стуку та зношуванню поршня внаслідок поперечного переміщення поршня в мертвих точках.

Зазор поміж поясом поршня, який несе поршневі кільця, та стінками циліндру виконують дещо більшим, ніж в направляючій частині.

Профілі бокової поверхні корпусу поршня, що показані на рис.4, а-г, виконують у вигляді циліндричних або конічних ступенів. В деяких випадках, особливо в останні роки, бокову поверхню поршня на висоті бобишок або дещо ближче до нижнього торця корпусу виконують бочкоподібною. При зміні робочої сторони поршня частина бокової поверхні вступає в контакт з циліндром, і тому дещо поліпшуються умови роботи бічної поверхні поршня, а також змащування юбки під час робочого ходу поршня.

Середні значення зазорів поміж корпусом поршня та стінкою циліндру:

Для чавунних та сталевих поршнів

- зазор в стороні, що звернена до камери згоряння

$$\Delta D' = (0,004 \dots 0,008)D$$

- зазор в стороні, що звернена до колінчастого валу

$$\Delta D'' = (0,0008 \dots 0,0013)D$$

Для поршнів із алюмінієвого сплаву

- зазор в стороні, що звернена до камери згоряння

$$\Delta D' = (0,008 \dots 0,013)D$$

- зазор в стороні, що звернена до колінчастого валу

$$\Delta D'' = (0,001 \dots 0,003)D$$

В двигунах з повітряним охолодженням, що працюють при більш високих температурах, зазори поміж поршнями та циліндрами (в холодному стані) мають бути більшими, ніж зазори у двигунів з водяним охолодженням.

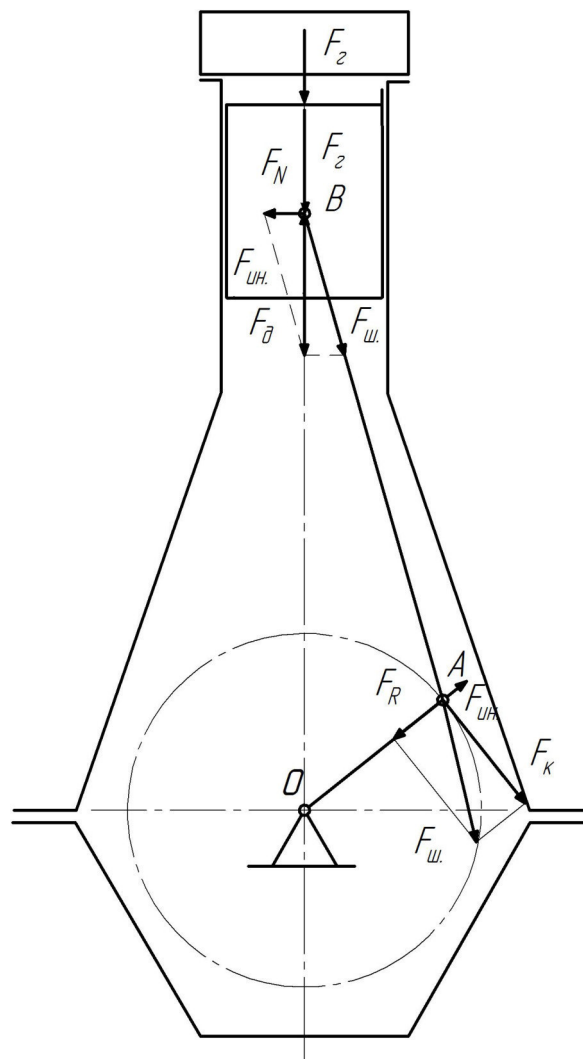
Вибір зовнішнього обрису направляючої частини корпусу залежить від деформації середньої частини поршня (в зоні розташування поршневого пальця).

В результаті дії температурних деформацій, сили тиску газів на днище поршня та

					ПННІ НУК 131.61.24.25 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

поперечної сили на бокову поверхню поршня розріз корпусу приймає овальну форму. Внаслідок того, що значна частина матеріалу розташована в напрямку вісі поршневого пальця, при нагріванні матеріал деформується нерівномірно, тому корпус в районі бобишок приймає форму овалу із збільшенням розміру вздовж вісі пальця (рис.4.2). В тому ж напрямку деформацію визиває і дія сили F_N (рис. 4.2). В результаті цього поміж циліндром та частиною поршня, розташованою біля пальця, може виникнути натяг, що приведе до заїдання поршня.

Вказані вище деформації враховують при виготовленні поршня: інколи корпусу поршня надають попередньо при механічній обробці овальну форму з більшою віссю овалу, що перпендикулярна до вісі поршневого пальця, або ж видаляють частину матеріалу із зовнішньої сторони корпусу біля поршневого пальця.



Стінки юбки виконують постійної по довжині товщини або дещо зменшеною в напрямку від поршневого пальця до колінчастого валу. Нерідко стінку юбки виконують з потовщенням у кромки, яке попереджає стінку від можливих при складанні та розбиранні деформацій. Це потовщення використовують також для розташування маслосборних кілець; крім того, потовщення служить для підгонки поршнів по масі і при їх обробці – як база для кріплення.

Часто для усунення стуку та перекосу поршня в непрогрітому двигуні та попередження заїдань при роботі поршня із легких сплавів їх виконують розрізними та еліптичними юбками. Розріз може бути виконаним по всій довжині юбки.

В цьому випадку пружна тонкостінна юбка деформується незалежно від деформації головки поршня, і зазор поміж корпусом поршня і стінкою циліндра може бути встановлений малим. Звичайно для збільшення міцності розріз роблять не по всій довжині; його виконують П- подібної або Т – подібної форми. В циліндрі поршень встановлюють так, щоб розріз був на тій стороні, де бокова сила менша. Подібні поршні виконують звичайно з юбкою еліптичної форми з малою віссю еліпса, яка направлена по вісі поршневого пальця. Різниця між вісями еліпса для поршнів автомобільних двигунів складає 0,1...0,3 мм. При холодному поршні забезпечується ходова посадка по розмірам більшої вісі еліпса. При роботі поршень деформується та приймає практично правильну циліндричну форму.

Опис конструкції спроектованого поршня

Спроектований поршень складається з двох частин тронка та головки поршня. Матеріал для спроектованого поршня повинен мати: високу зносостійкість, жаростійкість та малий коефіцієнт лінійного розширення, так як температура згорання в спроектованому двигуні вища тому, для головки поршня вибираємо сплав 20ХЗМВФ (ЭИ415), а тронк поршня виготовлений з алюмінієвого Сплав АК8л ГОСТ 1583-93 та вкрита антипригарним шаром.

Антипригарний шар.

					ПННІ НУК 131.61.24.25 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Завдяки розвитку сучасних технологій забезпечити надійний захист поршнів двигуна можливо шляхом застосування спеціальних покриттів, що виконують захисні, ізолюючі та антифрикційні функції. Поршні, оброблені такими покриттями, демонструють покращені експлуатаційні характеристики, зокрема:

зменшення зносу; зниження теплових навантажень; підвищення стійкості до детонаційних процесів; покращення змащування.

Існує два основні класи покриттів, які використовуються для поршнів:

1. Молекулярні тверді покриття

Ці покриття формують тверду, міцну поверхню, яка:

обре відбиває тепло; має високу твердість; знижує контактне тертя.

2. Керамічні покриття

Кераміка вирізняється високими теплоізоляційними властивостями. Вона здатна:

ефективно поглинати і утримувати тепло; захищати головку поршня від перегріву; зменшувати ймовірність детонації.

Поршні з керамічними покриттями мають підвищену теплову стабільність, особливо актуальну для форсованих та спортивних двигунів.

3. Високотемпературні покриття

До переваг поршнів, оброблених високотемпературними покриттями, належать:

зменшена чутливість до детонаційних навантажень; підвищена надійність при тривалому впливі високих температур; довговічність роботи в екстремальних умовах.

4. Полімерні та тефлонові покриття

Полімерні та тефлонові покриття не придатні для поршнів двигунів внутрішнього згоряння через низьку термостійкість. Вони не витримують робочих температур, характерних для поршневої групи (понад 200 °C).

Сучасні антифрикційні покриття: приклад MODENGY

					ПННІ НУК 131.61.24.25 ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Одним із сучасних рішень для захисту поршнів є антифрикційне покриття MODENGY для деталей ДВЗ. Це тверде сухе мастило, яке:

полімеризується при кімнатній температурі; утворює довготривалу захисно-мастильну плівку; знижує знос спідниць поршнів та стінок циліндра; зменшує втрати на тертя.

Експлуатаційні характеристики покриття MODENGY:

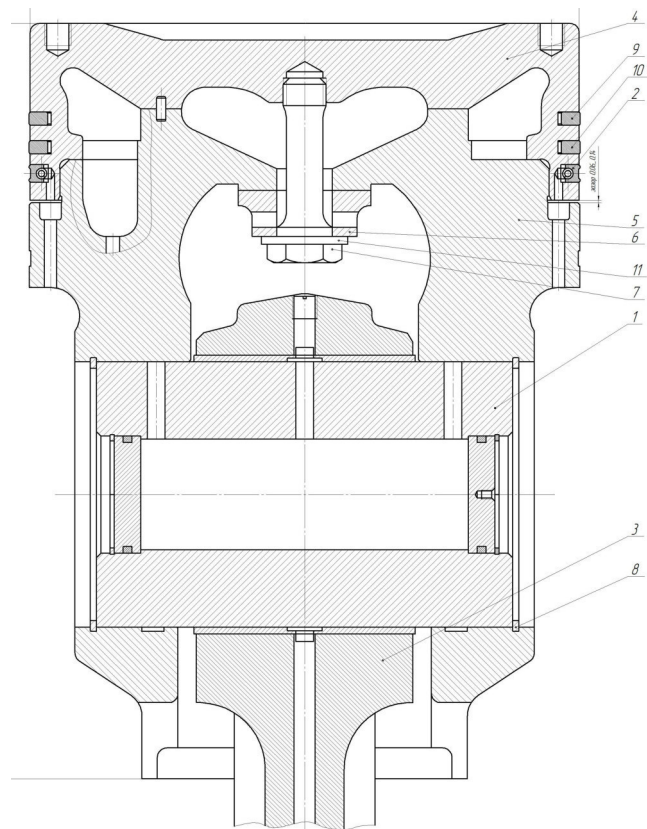
Температурний діапазон роботи: від -70°C до $+260^{\circ}\text{C}$; Висока адгезія до металевих поверхонь; стійкість до мастил, масел і розчинників; Ефективне зниження тертя навіть при недостатньому змащенні.

Покриття MODENGY ефективне як для бензинових, так і для дизельних двигунів, незалежно від типу транспортного засобу. Проте при виборі покриття доцільно враховувати рекомендації виробника двигуна, а також умови експлуатації.

- Висока несуча здатність
- Протизадирні властивості
- Здатність запобігати стрибкоподібному руху
- Властивості аварійного мастила
- Тривалий термін служби

Спроектований поршень такої конструкції дасть змогу збільшити кількість обертів за рахунок зменшення маси поршневої групи порівнянні з поршнем базового двигуна який виготовлений з чавуну. Також зменшити витрати потужності двигуна на механічні втрати шляхом зменшення поршневих кілець, 2 компресійних і одного маслоз'ємного які встановлені в головці поршня. Ще однією особливістю спроектованого поршня є: дві проточки вздовж юбки поршня для зменшення можливості задирю юбки поршня. Для оптимізації процесу згорання форму днища поршня вибираємо коритоподібної форми яка розташована в центрі днища і має мінімальну площу де концентрується більша частина газоповітряної суміші це дасть змогу зменшити теплові втрати та зменшити появу детонації.

					ПННІ НУК 131.61.24.25 ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



					ПННІ НУК 131.61.24.25 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

3.4 Розрахунок поршня на міцність

Завданням розрахунку поршня на міцність є перевірка його працездатності при максимальному тиску згоряння

Вихідні дані для розрахунку

1.Потужність двигуна	$P =$	230 кВт
2.Число циліндрів двигуна	$i =$	6
3.Питома ефективна витрата газового палива	$q_e =$	0,302 $\text{м}^3 / (\text{кВт} \cdot \text{год})$
4.Нижча теплота згоряння	$Q_H =$	36590 $\text{кДж} / \text{м}^3$
5.Доля загальної кількості теплоти, відведеної через головку поршня $\alpha = 0,04 \dots 0,10$	$\alpha =$	0,06
6.Максимальний тиск згоряння	$P_{\max} =$	9,98 МПа
7.Діаметр поршня	$D =$	0,18 м
8.Внутрішній діаметр канавки під компресійне кільце	$D_{\kappa} =$	0,164 м
9.Внутрішній діаметр поперечного перерізу головки поршня	$D_{BH} =$	0,15 м
9.Робоча висота юбки поршня	$L_H =$	0,136 м
10.Діаметр поршневого пальця	$d =$	0,075 м
11.Робоча довжина гнізд під палець в бобишках поршня	$l_P =$	0,08 м
12.Діаметр зовнішній бобишки поршня	$D_B =$	0,1 м
13.Товщина днища поршня	$\delta =$	0,016 м
14.Радіус заземлення днища поршня	$r =$	0,06 м
15.Коефіцієнт, що враховує пружність заземлення	$\xi =$	1
16.Максимальна нормальна сила, що діє на поршень знаходиться із динамічного розрахунку	$F_N =$	25000 Н
17.Матеріал поршня	Сталь - 20Х3 ГОСТ20072-74	
18.Модуль пружності для матеріалу поршня	$E =$	211000 МПа
	Сталь - $2,1 \cdot 10^5$	
19.Коефіцієнт Пуассона для матеріалу поршня	$\mu =$	0,3
	Сталь - 0,3	
20.Коефіцієнт лінійного розширення матеріалу поршня	$\alpha =$	1,1E-05 $^{\circ}\text{C}^{-1}$
	Сталь - $1,4 \cdot 10^{-5}$	

Розрахунок

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

4.1 Охорона праці та техніка безпеки при роботі в машинному відділенні
інструкція з охорони праці для осіб, що здійснюють підготовку та експлуатацію
дизелів.

1. Загальні положення

До роботи на ділянці з підготовки до експлуатації та експлуатації дизелів
допускаються особи: які досягли 18-річного віку; пройшли медичний огляд;
пройшли вступний, первинний та періодичні інструктажі з охорони праці;
вивчили пристрій і принцип роботи дизеля та дизель-генераторів; склали іспит
перед кваліфікаційною комісією; навчені та атестовані з питань охорони праці
відповідно до чинного законодавства.

2. Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ)

Під час роботи працівник зобов'язаний користуватись виданим спеціальним
одягом згідно з нормативами: Найменування ЗІЗ

Термін використання

Рукавиці х/б 1 місяць

Костюм х/б 12 місяців

Навушники (беруші) До зносу

Черевики шкіряні 12 місяців

3. Вимоги безпеки під час роботи

Працівник зобов'язаний: дотримуватись внутрішнього трудового розпорядку;
дотримуватись правил пожежної безпеки; в'їхати лише у спеціально відведених
місцях; дотримуватись правил особистої гігієни, зокрема:

не зберігати та не вживати їжу на робочому місці; мити руки перед прийомом їжі;
не використовувати для миття рук бензин, гас, розчинники тощо.

4. Небезпечні та шкідливі виробничі фактори

Основні шкідливі чинники при роботі з дизелями:
оксид вуглецю (чадний газ); мінеральні масла; сірчистий ангідрид; виробничий
шум.

					ПННІ НУК 131.61.24.25 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

5. Санітарні вимоги

Під час роботи працівник зобов'язаний:

збирати відходи виробництва у спеціальні ємності; використовувати вентиляційні системи (витяжну та припливну); користуватись засобами індивідуального захисту при роботі з небезпечними речовинами; у разі роботи з новими або невідомими матеріалами — вимагати інструкцію з їх використання.

6. Загальні обов'язки працівника

Працівник зобов'язаний:

піклуватися про власну безпеку і здоров'я, а також про безпеку інших осіб, які перебувають поруч під час виконання робіт або перебування на території електростанції; знати і виконувати вимоги нормативно-правових актів з охорони праці; дотримуватись правил поведінки з машинами, механізмами, устаткуванням; користуватись засобами колективного та індивідуального захисту; проходити в установленому порядку попередні та періодичні медичні огляди; виконувати вимоги інструкцій з охорони праці, які є обов'язковими для всіх працівників.

Порушення вимог цієї інструкції розглядається як порушення виробничої дисципліни та тягне за собою відповідальність відповідно до чинного законодавства України.

Вимоги безпеки перед початком роботи

- Привести в порядок робочий одяг: застібнути обшлаг рукавів, прибрати волосся під головний убір.
 - Організувати своє робоче місце так, щоб все необхідне було під рукою. Якщо підлога мокра і слизька – посипати тирсою;
 - Перевірити чи достатньо освітлено ваше робоче місце;
 - Працювати з інструментом, що відповідає наступним вимогам,:
- гайкові ключі повинні бути справні і відповідати розмірам болтів і гайок; не нарощувати ключі іншими предметами;

					ПННІ НУК 131.61.24.25 ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

користуватися пристосуваннями, передбаченими техпроцесами

- Оглянути наявність і справність захисних кожухів.

Основні вимоги перед пуском дизеля

- Перед пуском дизеля провертання колінчастого валу уручну здійснювати тільки з відкритими декомпрессионними клапанами і при закритому балоні стислого повітря, не менше двох оборотів, після чого зняти валоповоротний пристрій для провертання маховика;

- Перевірити чи не знаходиться дизель-генератор при пуску під навантаженням;

Вимоги безпеки під час роботи

- При проведенні ревізії на дизелі у всіх місцях, пов'язаних з подачею стислого повітря, палива вивісити попереджувальні таблички застережливі про те, що пуск дизель-генератора забороняється.

- На дизелі і майданчиках по обслуговуванню не дозволяється залишати деталі, інструмент і пристосування після закінчення або в перервах в роботі.

- Пролите масло або паливо повинні бути негайно прибрані.

- Не торкатися без теплозахисних засобів до незахищених деталей, що мають температуру більш 70°C;

- Не запускати дизель без захисного кожуха на маховику;

- Під час роботи дизеля не обтирати рухомі частини дизеля, не усувати дефекти;

- Не підтягати болти, гайки з'єднань, що знаходяться під тиском на працюючому дизелі;

- Пуск дизеля після ревізії проводити після огляду на наявність сторонніх предметів на дизелі;

- Перевірити кріплення і шплинтовку всіх деталей дизеля, особливу увагу звернути на шплинтовку шатунових болтів і шпильок рамових підшипників;

- Не працювати з електроосвітлювальними приладами, що мають напругу більше 12 В;

					ПННІ НУК 131.61.24.25 ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Не проводити роботи (технологічні операції) при піднятті деталей і вузлів краном, від'єднувати строп від вузла якщо вузол не закріплений;
- Не знаходитися в небезпечній зоні при переміщенні вантажу;
- При виявленні несправностей устаткування, інструменту, ЗІЗ негайно припинити роботу, повідомляти адміністрації електростанції і далі діяти відповідно до вказівок;
- Про кожний нещасний випадок що відбувся на виробництві або раптовому захворюванні негайно повідомити безпосереднього керівника робіт і прийняти заходи по наданню першої долікарської допомоги постраждалому.

Вимоги безпеки після закінчення робіт

- Закрити замочні вентиля палива, води зовнішнього контуру, пускового повітря, відключити переносний електроінструмент, відпрацьоване масло злити в спеціальну ємність;
- Привести в порядок робоче місце, інструмент і пристосування;
- Зняти робочий одяг і прибрати його в шафу;
- Вмиватися або прийняти душ;
- Про всі недоліки, виявлених в процесі роботи негайно повідомляти адміністрації електростанції.

Вимоги безпеки в аварійній ситуації

Можливою причиною аварії може бути:

- дизель йде розносячи - підвищення частоти обертання вище 570 хв^{-1} , підвищення температури води вище 90°C , падіння тиску масла нижче $1,6 \text{ кг/см}^2$;
- розривання паливопроводу і попадання палива на оголені деталі вихлопного колектора (спалах палива), при виникненні пожежі дзвонити в пожежну частину і прийняти заходи по ліквідації спалаху;
- при появі стороннього шуму в дизелі негайно зупинити двигун, перекрити подачу палива або відключити рукояткою граничного вимикача, повідомити майстра і далі діяти по його вказівках;

					ПННІ НУК 131.61.24.25 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У разі попадання людини під напругу необхідно звільнити його від дії електричного струму, шляхом відключення від джерела живлення, а при неможливості відключення - відтягнути його від токоведущих частин за одяг або застосувати підручний ізоляційний матеріал. При потраплянні робочого під дію електричного струму необхідно вивільнити його від струму, після чого, необхідно викликати лікаря і надати постраждалому долікарську допомогу.

При опіках слід робити холодні примочки з розчином борної кислоти.

При пораненні, порізах, обробити шкіру навколо рани йодом, накласти стерильну пов'язку.

При виникненні аварійної ситуації необхідно припинити роботу і:

- видалити з аварійної зони людей
- прийняти заходи по зупинці устаткування і інші заходи, що виключають небезпеку для людей, повідомити адміністрації електростанції.

4.2 Захист навколишнього середовища

Шкідливі речовини, що виділяються при згорянні палива у двигуні можна розділити на три основні групи:

а) продукти повного (біоксиду вуглецю CO_2) т неповного згоряння (оксид вуглецю CO , неспалені вуглеводні C_nH_m , в тому числі поліциклічні ароматичні, сажа або тверді частинки);

б) оксиди азоту NO_x , механізм створення яких безпосередньо не пов'язаний (або пов'язаний дуже мало) з процесом згоряння палива; викиди NO_x , що обумовлені, головним чином, реакціями окислення атмосферного азоту киснем при високих температурах;

в) речовини, викиди яких пов'язані, головним чином, із вмістом у паливі сірки, сполук свинцю, золи.

Вплив оксиду вуглецю на організм людини

Основна небезпека оксиду вуглецю (CO) полягає у порушенні газообміну в організмі. У легенях гемоглобін крові з'єднується з CO у 240 разів швидше, ніж із киснем, утворюючи карбоксигемоглобін (COHb). Це блокує здатність

					ПННІ НУК 131.61.24.25 ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

крові переносити кисень до органів і виводити вуглекислий газ, що призводить до кисневого голодування.

Вплив залежить від концентрації CO та тривалості дії: 0,01 % CO в повітрі (тривалість більше 1 години) — викликає: головний біль; погіршення реакції; зниження працездатності. Вищі концентрації можуть призводити до: втрати свідомості; порушення серцево-судинної діяльності; інфаркту міокарда; ураження центральної нервової системи; розвитку легеневих захворювань. Найбільш чутливі до дії CO — люди з коронарною недостатністю.

Небезпечні рівні: 0,001–0,0015 % CO (10–15 ppm) протягом 8 годин у окремих людей викликає погіршення здатності до орієнтації в часі. Високі концентрації CO можуть призводити до раптової втрати свідомості та смерті. Утворення карбоксигемоглобіну є процесом зворотним: після припинення вдихання CO, його рівень у крові знижується вдвічі кожні 3–4 години. Вплив CO на рослинний світ Дослідження показали, що: при концентрації CO нижче 0,01 % — впливу на рослини не виявлено, навіть при тривалому перебуванні (до 3 тижнів); окремі дослідження зафіксували погіршення утворення пилку при таких умовах.

Канцерогени серед вуглеводнів.

Особливу небезпеку становлять канцерогени — речовини, що викликають онкологічні захворювання. Найнебезпечніший канцероген — бенз(а)пірен ($C_{20}H_{12}$): має вигляд жовтих кристалів; добре розчиняється у жирах, оліях, сироватці крові; при контакті з тканинами викликає злоякісні пухлини; накопичується в організмі, і при досягненні критичної концентрації — провокує розвиток ракових захворювань. Основними альдегідами, що надходять у атмосферу з відпрацьованими газами, є формальдегід і акролеїн.

Формальдегід (муашковий альдегід) — газ без кольору із задушливим, подразнюючим запахом. Охолоджуючись, перетворюється в рідину за температури мінус 21°C. Легко розчиняється у воді. Розчин, який містить 40 % формальдегіду, називається формаліном.

					ПННІ НУК 131.61.24.25 ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Газ шкідливо впливає на органи дихання і слизові оболонки, є дуже сильним подразником, вражає діяльність центральної нервової системи, печінки, нирок. За концентрації формальдегіду у атмосфері 0,007 % має місце легке подразнення дихальних шляхів та слизових оболонок очей і носа, за концентрації 0,18 % - подразнення сильне. Запах сприймається людиною за концентрації 0,000015 %, і це має бути сигналом, що перебування в такій атмосфері небезпечне.

Основна частина оксидів азоту, які знаходяться в атмосфері, надходить з відпрацьованими газами.

Оксиди азоту NO і NO₂ отруйні для організму людини, мають сильну подразнюючу дію, особливо на слизові оболонки, зокрема очей. Здатні глибоко проникати в легено, викликаючи пошкодження їх тканин. За високої концентрації можливі виникнення хронічних респіраторних захворювань.

Двооксид азоту в концентрації 4-6 мг/м викликає порушення життєдіяльності рослин, пригнічуючи їх зростання. Тривалий вплив NO₂ призводить до хлорозу рослин (передчасного старіння).

Двооксид азоту є вихідним продуктом утворення озону під впливом ультрафіолетового випромінювання. А надмірне накопичення озону у приземному просторі дуже шкідливе. Крім того, NO₂ має вирішальну роль в утворенні фотооксидантів. Розчин NO₂ у воді є складовою "кислотних дощів".

Сірчистий газ SO₂ – основний токсичний продукт сполук сірки, що надходить у атмосферу з відпрацьованими газами. У вільному стані SO – це газ без кольору з різким запахом, кислий на смак, отруйний, подразнює слизові оболонки очей і дихальних шляхів. Легко розчиняється у воді, утворюючи сірчисту кислоту H₂SO₃

Висока концентрація SO₂ в атмосфері викликає гострий бронхіт, задуху, можливу смерть внаслідок рефлексорного спазму горла.

Сполуки сірки SO₂, SO₃, H₂SO₃ і H₂SO₄ наносять значний збиток лісовому і сільському господарствам – вони закислюють ґрунт, підвищують вразливість

					ПННІ НУК 131.61.24.25 ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

рослин захворюваннями. Окрім того, ці речовини є основними складовими класичного смогу і складовою "кислотних дощів".

Сполуки сірки наносять значних збитків комунальному господарству міст, руйнуючи металеві конструкції, бетон, піддають руйнації пам'ятки архтектури.

					ПІННІ НУК 131.61.24.25 ПЗ	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

Кваліфікаційна робота бакалавра на тему: „Удосконалення конструкції поршневої групи з метою покращення ресурсних показників газового двигуна потужністю 230 кВт. Прототип – 6ГЧН18/22”. В загальному розділі було описано технічну інформацію про об’єкт використання двигуна в якості стаціонарного двигуна електростанції, опис конструкції двигуна прототипу.

Газовий двигун 6ГЧН18/22 потужністю 230 кВт при частоті обертання 1000 хв^{-1} використовується для приводу електрогенератора змінного струму і встановлюється у місцях постійного споживання електричної та теплової енергії. Детальна конструкція двигуна наведена в Додатку 1 графічної частини роботи.

У Конструкторському розділі за заданими вихідними параметрами двигуна ($P = 230 \text{ кВт}$, $n = 1000 \text{ хв}^{-1}$), визначено двигун-прототип 6ГЧН18/22, а також виконано розрахунки параметрів робочого циклу. На основі результатів побудовано: індикаторну діаграму дійсного робочого циклу; діаграми сил, що діють на деталі кривошипно-шатунного механізму. Ці діаграми наведено у Додатку 6 графічної частини.

У науковому розділі був проведений опис конструкції поршня. Особливу увагу приділено розробці поршня, виготовленого з алюмінієвого сплаву. У пояснювальній записці подано: детальний опис поршня двигуна-прототипу; розрахунок міцності; креслення: складальне креслення поршня – у Додатку 3; робочі креслення – у Додатках 4 і 5.

У четвертому розділі були розроблені заходи з охорони праці та довкілля.

Оскільки газовий двигун 6ГЧН18/22 є джерелом шуму та вібрацій, у роботі розроблено заходи зі зменшення негативного впливу його експлуатації на: обслуговуючий персонал; навколишнє середовище.

					ПННІ НУК 131.61.24.25 ПЗ	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ

1. Тимченко І.І. та інші Автомобільні двигуни. Підручник. – 3-тє видання К.: Арістей, 2007.-476с.
2. Суднові двигуни внутрішнього згоряння: Підручник /В.С.Наливайко, Б.Г.Тимошевський, С.Г.Ткаченко. – Миколаїв: 2015. -332с.
3. Дьяченко В.Г. Основи теорії робочих процесів в двигунах внутрішнього згоряння. - Київ: УМК ВО, 1988. - 95 с.
4. Марченко А.П., Парсаданов І.В., ТОВАЖНЯНСЬКИЙ Л.Л., ШЕХОВЦОВ А.Ф. Двигуни внутрішнього згоряння. Т.5 „Екологізація ДВЗ”. – Харків: „Прапор”, 2004.
5. Використання рослинної олії в якості палив в середньо оборотному дизельному двигуні. Швець І., Грабовенко О., Доценко С., Нестеренко В. Двигуни внутрішнього згоряння. – 2021. № 2. С.79–86.
6. Горбов В.М. Енергетичні палива: Навчальний посібник. – Миколаїв: УДМТУ, 2003.-328с.
7. Ю.Ф. Гутаревич, Д.В. Зеркалов, А.Г. Говорун, А.О. Копач, Л.П. Мержиєвська. Екологія автомобільного транспорту: Навчальний посібник - К.: Основа, 2002.- 312с.

Додаткова література

1. Лабораторний практикум. Методичні вказівки щодо виконання лабораторних робіт з дисципліни „Теорія ДВЗ”. Коваленко І.М., Доценко С.М. Малютін П.В. Первомайськ ППІ, 2007.

2. Методичні вказівки до виконання розрахунку робочого процесу, теплового балансу, теоретичної та дійсної індикаторної діаграми газодизельного двигуна з дисципліни «Теорія ДВЗ». // Доценко С.М., Бельський Ф.В.- Первомайськ ППІ НУК, 2013. – 52с.

3. Методичні вказівки до виконання розрахунку робочого процесу, теплового балансу, теоретичної та дійсної індикаторної діаграми бензинового двигуна з дисципліни «Теорія ДВЗ». // Доценко С.М., Бельський Ф.В.- Первомайськ ППІ НУК, 2013. – 52с.

4. Методичні вказівки до виконання розрахунку робочого процесу дизельного двигуна на альтернативних видах рідкого палива з дисципліни «Теорія двигунів внутрішнього згоряння». // Доценко С.М.– Первомайськ: ПФ НУК, 2021 - 50 с.

5. Методичні вказівки до виконання розрахунку робочого процесу, теплового балансу, теоретичної та дійсної індикаторної діаграми газового двигуна з дисципліни «Теорія ДВЗ». // Доценко С.М., Бельський Ф.В., Гірікович В.С.- Первомайськ ППІ НУК, 2010. – 36с.

6. Методичні вказівки до виконання розрахунку робочого процесу дизельного двигуна з дисципліни «Теорія ДВЗ» // Доценко С.М., Діденко О.В - Первомайськ ППІ НУК, 2012. – 40с.

7. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни „ Теорія двигунів внутрішнього згоряння” Доценко С.М. – Первомайськ ППІ НУК, 2014.

					ПННІ НУК 131.61.24.25 ПЗ	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1. ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ	
1.1 Технічна інформація про об'єкт використання двигуна.....	6
1.2 Опис конструкції двигуна – прототипу.....	13
2. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	
2.1 Вибір основних параметрів для розрахунку робочого процесу.....	17
2.2 Розрахунок робочого процесу газового двигуна.....	19
2.3 Розрахунок та побудова теоретичної та дійсної індикаторної діаграми.....	29
2.4 Розрахунок теплового балансу	33
2.5 Динамічний розрахунок двигуна.....	38
3. НАУКОВИЙ РОЗДІЛ	
3.1 Опис та аналіз конструкцій поршнів	42
3.2 Вибір конструкції проектного поршня	43
3.3 Розрахунок поршня на міцність	54
4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	
4.1 Охорона праці та техніка безпеки при роботі в машинному відділенні.....	57
4.2 Захист навколишнього середовища	61
ВИСНОВКИ.....	65
ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ.....	66

					ПННІ НУК 142.41.25.03 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Самойленко			Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Дубовець						
							3	96
Н. Контр.		Дубовець				41-ЕМ-21з		
Затверд.		Нестеренко						

Шановні члени Державної екзаменаційної комісії !

Я Самойленко Сергій Сергійович представляю вашій увазі кваліфікаційну роботу бакалавра на тему «Удосконалення конструкції поршневої групи з метою покращення ресурсних показників газового двигуна потужністю 230 кВт. Прототип – 6ГЧН18/22».

При розробці дипломного проекту було поставлено завдання розробити конструкцію поршня для двигуна 6ГЧН18/22 який працює на електростанції, з найменшими на це затратами, потужністю 230 кВт на базі двигуна внутрішнього згоряння типу 6ЧН18/22.

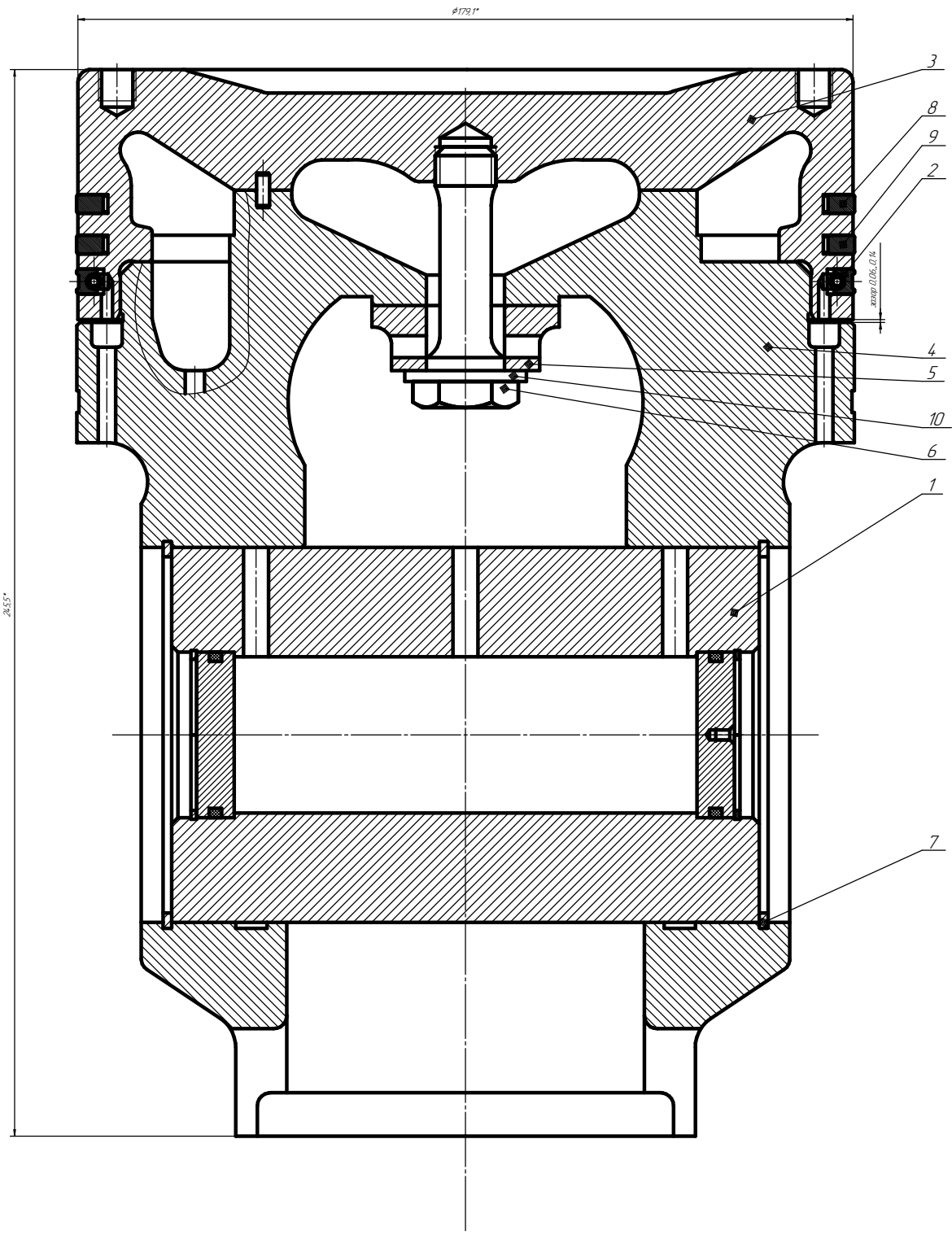
В кваліфікаційній роботі бакалавра виконали опис вузлів та систем спроектованого двигуна, в які входять: опис конструкції двигуна, систем двигуна. Зроблений перелік та описання обладнання, що застосовано на електростанції, а також умови експлуатації та заходи по техніці безпеки при роботі з даним обладнанням.

У другому розділі було проведено конструкторський розрахунок в який входить: розрахунок робочого процесу газового двигуна з перевірочними розрахунками, розрахунок теплового балансу двигуна, побудована індикаторна діаграма, а також динамічний розрахунок з побудовою графіків. В зв'язку зі зміною параметрів робочого процесу двигуна в порівнянні з базовим були виконані розрахунки на міцність шатунно поршневої групи.

В третьому розділі кваліфікаційної роботи був зроблений опис конструкції спроектованого поршня. Спроектований поршень складається з двох частин тронка та головки поршня. Матеріал для спроектованого поршня повинен мати: високу зносостійкість, жаростійкість та малий коефіцієнт лінійного розширення. Спроектований поршень такої конструкції дасть змогу збільшити кількість обертів за рахунок зменшення маси поршневої групи порівнянні з поршнем базового двигуна який виготовлений з чавуну.

Газовий двигун 6ГЧН 18/22 є джерелом шуму і вібрації, а тому значну увагу в кваліфікаційній роботі приділено розробці заходів по зменшенню

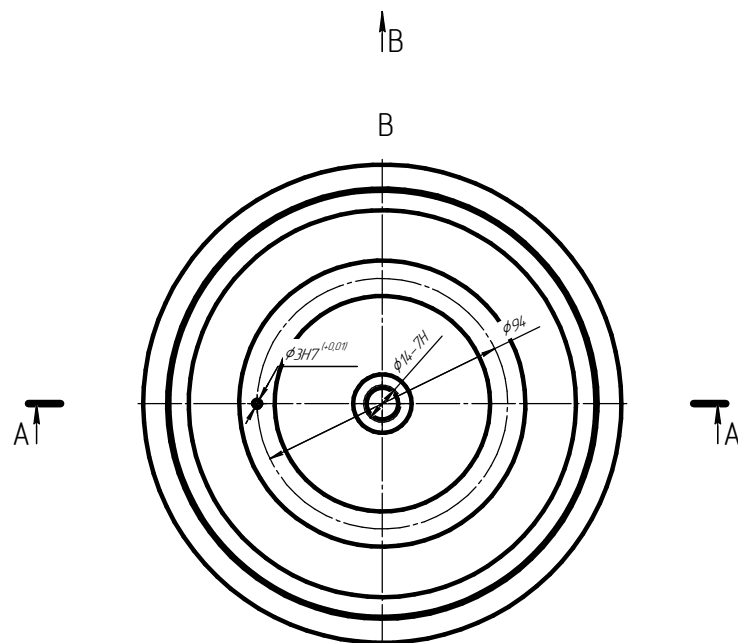
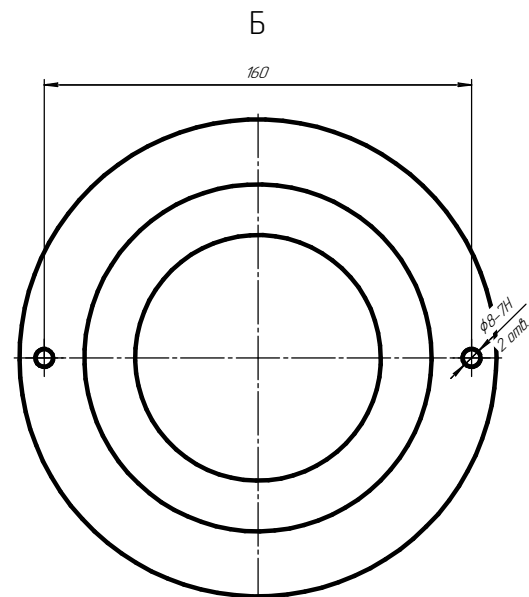
Перв. примен.		Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание	
						Документація			
		A1			ПННІ НУК14.2.4.1.25.3.1.0.0 СК	Складальне креслення			
						Складальні одиниці			
Справ. №		A1	1		ПННІ НУК14.2.4.1.25.3.1.1.0	Кришка циліндра	6		
		A1	2		ПННІ НУК14.2.4.1.25.3.1.2.0	Блок-картер	1		
		A1	3		ПННІ НУК14.2.4.1.25.3.1.3.0	Фундаментна рама	1		
		A1	4		ПННІ НУК14.2.4.1.25.3.1.4.0	Поршень	6		
		A1	5		ПННІ НУК14.2.4.1.25.3.1.5.0	Шатун	6		
		A1	6		ПННІ НУК14.2.4.1.25.3.1.6.0	Колінчастий вал	1		
		A1	7		ПННІ НУК14.2.4.1.25.3.1.7.0	Розподільчий вал	1		
Подп. и дата		A1							
		A1							
		A1							
		A1							
		A2							
		A1							
		A1							
Взам. инв. №		A1							
Подп. и дата									
Инв. № подл.									
					ПННІ НУК14.2.4.1.25.3.1.0.0				
Изм.	Лист	№ докум.		Подп.	Дата				
Разраб.		Самойленко				Двигун 6ГЧН 18/22			
Проб.		Дубовець							
Н.контр.		Дубовець				41-ЕМ-21з			
Утв.		Нестеренко							
							Лит.	Лист	Листов
							4		1



- 1. Перед складанням всі паражини та отвори провідити стисненим повітрям.
- 2. Зажми париневих кілець розташувати під кутом 120 друг відносно друга по гвинтовій лінії.
- 3. Затяжку далта провадити моментом 40 нм (4 кгс.м).
- 4. Розміри для довідок.

ПНН НУК14.2.4.125.3.14.0 СК						ПНН НУК14.2.4.125.3.14.0 СК		
Поршень						Лист	Масштаб	Масштаб
						Н	17,8	11
						Діаметр	Діаметр	Діаметр
						41-ЕМ-213		
						Копія		
						Формат А1		

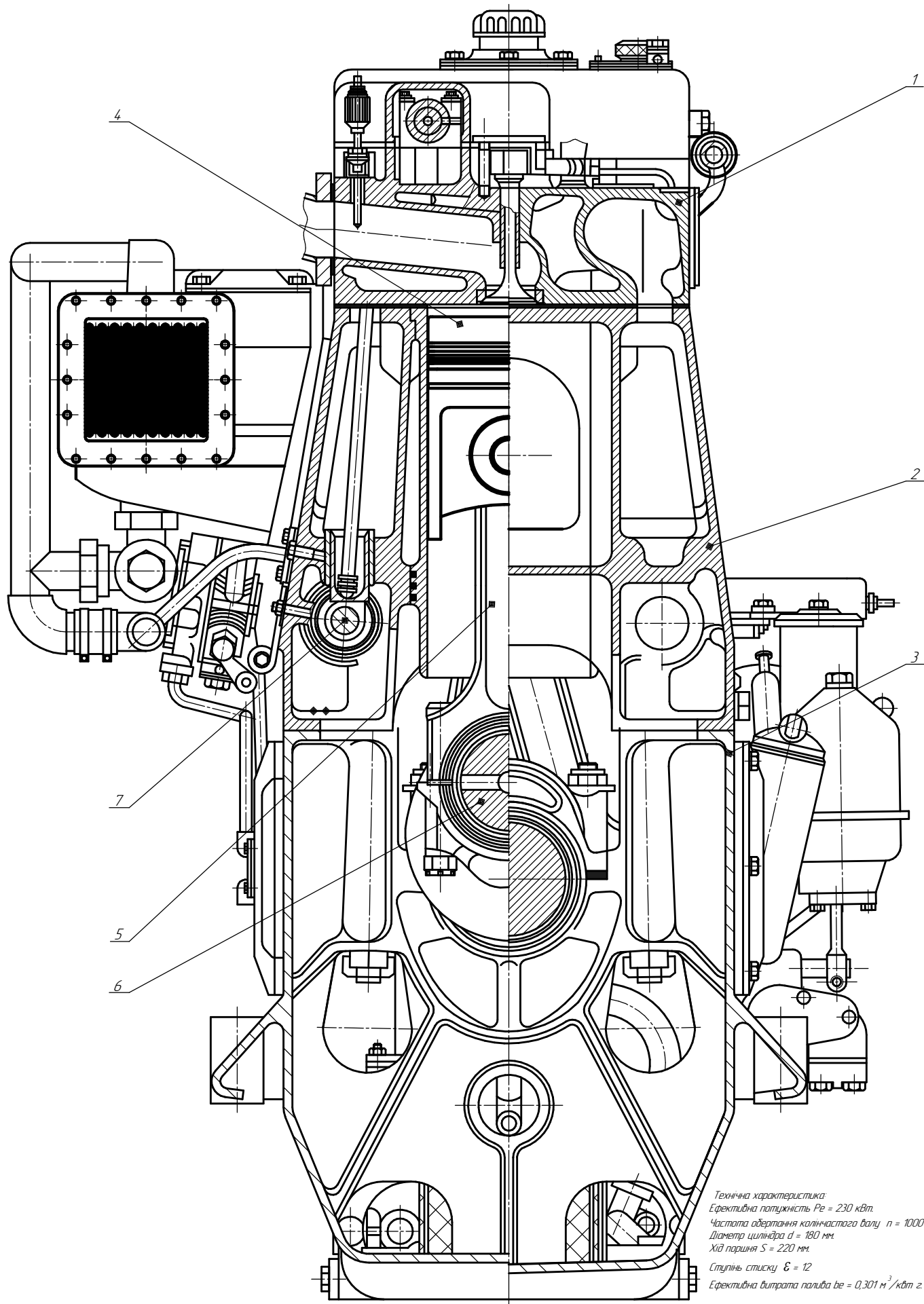
Перв. примен.		Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание	
Справ. №		A1							
							Документація		
							СКладальне креслення		
							СКладальні одиниці		
					1	ПННІ НУК14.2.4.1.25.3.14.1	Палець поршневий	1	
					2	ПННІ НУК14.2.4.1.25.3.14.2	Кільце маслоз'ємне	1	
Подп. и дата									
Инв. № докл.									
Взам. инв. №									
Подп. и дата									
Инв. № подл.									
					ПННІ НУК14.2.4.1.25.3.14.0				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Поршень		Лит.	Лист	Листов
Разраб.	Самойленко								1
Проб.	Дубовець								
Н.контр.	Дубовець						41-ЕМ-21з		
Утв.	Нестеренко								



1. Паковка гр. II-НВ ≥ 269 ГОСТ84 79-70.
2. 293_311НВ.
3. На одгродіній поверхні головки не допускається пріщини, раковини, забої.
4. Допускається зачищені забоїни та подрятини глибиною в межах допуску на розмір.
5. Після перевірки головку розмазніжити.
6. На різьбі не допускається забоїни, вм'ятини, викрашування.
7. Відхилення форми поверхні камери згоряння не більше ніж 0,5мм.
8. Недокладні граничні відхилення отворів Н14, валів h14, інших $\pm \frac{H14}{10}$

						ПНН НУК 14.2.4.125.3.14.3 РК			
Мат	Матер	М.П.Матер	М.П.Мат	Мат	Головка поршня		Лит	Мат	Материал
Матер	Смолитовый						у	7,6	11
Лит	Дубовый						Лит	Дубовый	1
Литер	Дубовый								
Матер	Дубовый				Сталь 20Х3МВФ ГОСТ 20072-76		41-ЕМ-213		
Мат	Металлический								

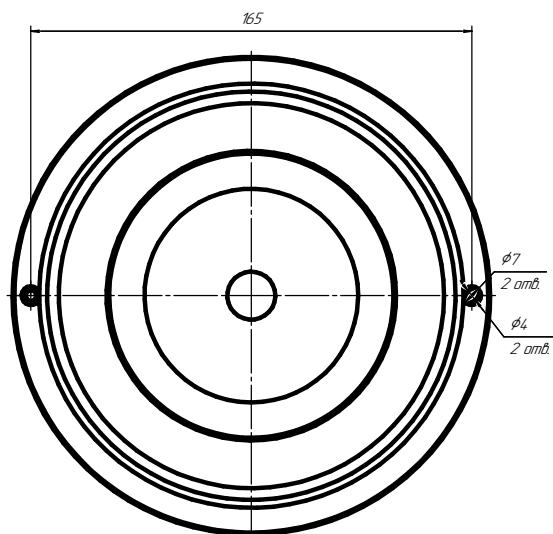
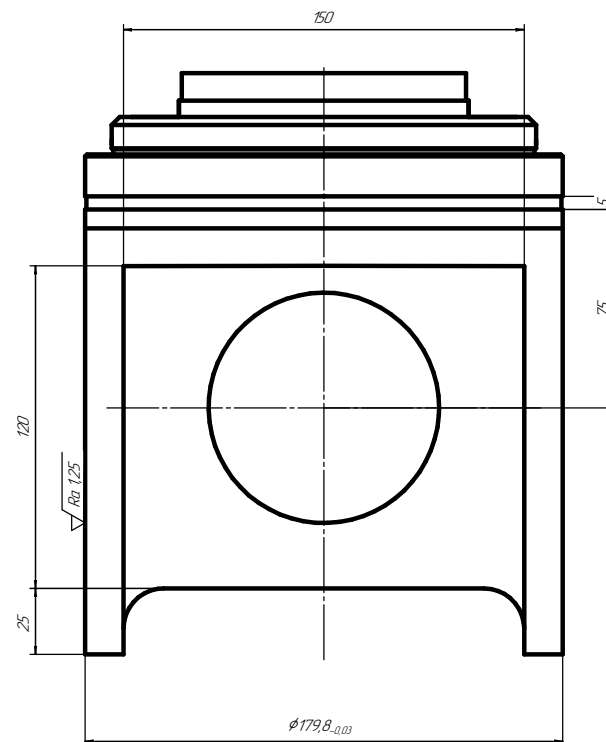
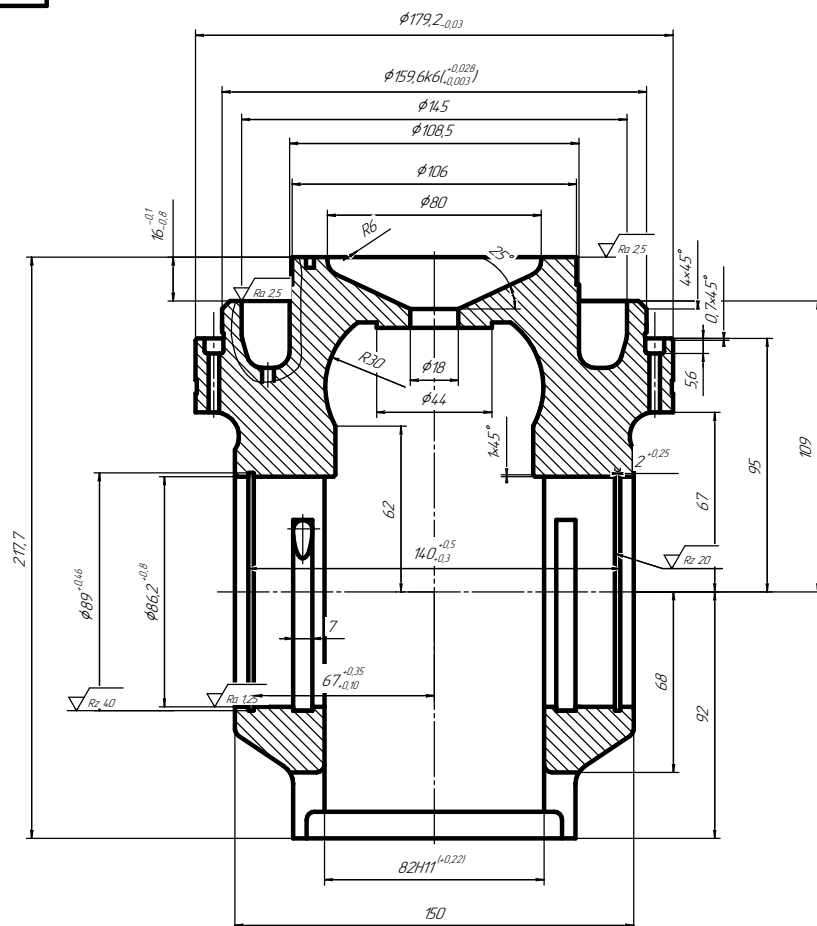
Формат		Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
Перв. примен.							
					Документація		
				ПННІ НУК14.2.4.1.25.3.0.0.0 СК	Складальне креслення		
					Складальні одиниці		
Справ. №			1	ПННІ НУК14.2.4.1.25.3.1.0.0	Двигун 6ГЧН18/22	1	
			2	ПННІ НУК14.2.4.1.25.3.2.0.0	Генератор	1	
			3	ПННІ НУК14.2.4.1.25.3.3.0.0	Підрамник	1	
			4	ПННІ НУК14.2.4.1.25.3.4.0.0	Закриття маховика	1	
			5	ПННІ НУК14.2.4.1.25.3.5.0.0	Компенсатор	6	
Підп. і дата							
Взам. инв. №							
Инв. № докл.							
Подп. и дата							
Изм. № подл.							
Изм. № подл.							



Технічна характеристика:
 Ефективна потужність $P_e = 230$ кВт.
 Частота обертання колінчастого валу $n = 1000$ хв⁻¹.
 Діаметр циліндра $d = 180$ мм.
 Хід поршня $S = 220$ мм.
 Ступінь стиску $\epsilon = 12$
 Ефективна витрата палива $b_e = 0,301$ м³/кВт·г.

Технічні вимоги:
 Масло яке використовується на двигуні ADDINOL;
 Охолоджуюча рідина: вода прісна з антикорозійною присадкою ВНЧМТТ117/Д.

ПНН НУЖ 14.2.4.125.3.10.0 СК									
Модель	Модифікація	Рік	Маса	Місця	Поперечний переріз				
Рік	Специфікація				У	3350	12		
Рік	Додаток				Дат.	1	Август	2	
Норматив	Додаток				Поперечний переріз				
Мод.	Норматив				41-ЕМ-21з				



1. Відливка по ГОСТ 26358-84, точність відливки 10μ-11 ГОСТ 26645-85.
2. 180..260 HB.
3. Невказані граничні відхилення розмірів валив Н14, отворів Н14, інших ¹⁴7.
4. На одроблених поверхнях не допускаються тріщини, рихлоти.
5. На необроблених поверхнях допускаються чисті раковини найбільшим розміром до 2мм глибиною до 7мм розташованих на відстані не менш ніж 5мм одна від одної та країв деталі.

						ПНН НУК14.2.4.125.3.14.4 РК					
						Транк			Дат	Вх	Минуты
									И	66	11
Исх	Вх	Д	Вх	Дат	Вх				Дат	Вх	Минуты
Исх	Вх	Д	Вх	Дат	Вх						
Исх	Вх	Д	Вх	Дат	Вх						
Исх	Вх	Д	Вх	Дат	Вх						
Исх	Вх	Д	Вх	Дат	Вх						
Исх	Вх	Д	Вх	Дат	Вх						
Исх	Вх	Д	Вх	Дат	Вх						
Исх	Вх	Д	Вх	Дат	Вх						
Исх	Вх	Д	Вх	Дат	Вх						
Исх	Вх	Д	Вх	Дат	Вх						
Исх	Вх	Д	Вх	Дат	Вх						
Исх	Вх	Д	Вх	Дат	Вх						
Исх	Вх	Д	Вх	Дат	Вх						
Исх	Вх	Д	Вх	Дат	Вх						
Исх	Вх	Д	Вх	Дат	Вх						
Исх	Вх	Д	Вх	Дат	Вх						
Исх	Вх	Д	Вх	Дат	Вх						
Исх	Вх	Д	Вх	Дат	Вх						
Исх	Вх	Д	Вх	Дат	Вх						
Исх	Вх	Д	Вх	Дат	Вх						
Исх	Вх	Д	Вх	Дат	Вх						
Исх	Вх	Д	Вх	Дат	Вх						
Исх	Вх	Д	Вх	Дат	Вх						
Исх	Вх	Д	Вх	Дат	Вх						
Исх	Вх	Д	Вх	Дат	Вх						
Исх	Вх	Д	Вх	Дат	Вх						
Исх	Вх	Д	Вх	Дат	Вх						
Исх	Вх	Д	Вх	Дат	Вх						
Исх	Вх	Д	Вх	Дат	Вх						
Исх	Вх	Д	Вх	Дат	Вх						
Исх	Вх	Д	Вх	Дат	Вх						
Исх	Вх	Д	Вх	Дат	Вх						
Исх	Вх	Д	Вх	Дат	Вх						
Исх	Вх	Д	Вх	Дат	Вх						
Исх	Вх	Д	Вх	Дат	Вх						
Исх	Вх	Д	Вх	Дат	Вх						
Исх	Вх	Д	Вх	Дат	Вх						
Исх	Вх	Д	Вх	Дат	Вх						
Исх	Вх	Д	Вх	Дат	Вх						
Исх	Вх	Д	Вх	Дат	Вх						
Исх	Вх	Д	Вх	Дат	Вх						
Исх	Вх	Д	Вх	Дат	Вх						
Исх	Вх	Д	Вх	Дат	Вх						
Исх	Вх	Д	Вх	Дат	Вх						
Исх	Вх	Д	Вх	Дат	Вх						
Исх	Вх	Д	Вх	Дат	Вх						
Исх	Вх	Д	Вх	Дат	Вх						
Исх	Вх	Д	Вх	Дат	Вх						
Исх	Вх	Д	Вх	Дат	Вх						
Исх	Вх	Д	Вх	Дат	Вх						
Исх	Вх	Д	Вх	Дат	Вх						
Исх	Вх	Д	Вх	Дат	Вх						
Исх	Вх	Д	Вх	Дат	Вх						
Исх	Вх	Д	Вх	Дат	Вх						
Исх	Вх	Д	Вх	Дат	Вх						
Исх	Вх	Д	Вх	Дат	Вх						
Исх	Вх	Д	Вх	Дат	Вх						
Исх	Вх	Д	Вх	Дат	Вх						
Исх	Вх	Д	Вх	Дат	Вх						
Исх	Вх	Д	Вх	Дат	Вх						
Исх	Вх	Д	Вх	Дат	Вх						
Исх	Вх	Д	Вх	Дат	Вх						
Исх	Вх	Д	Вх	Дат	Вх						
Исх	Вх	Д	Вх	Дат	Вх						
Исх	Вх	Д	Вх	Дат	Вх						
Исх	Вх	Д	Вх	Дат	Вх						
Исх	Вх	Д	Вх	Дат	Вх						
Исх	Вх	Д	Вх	Дат	Вх						
Исх	Вх	Д	Вх	Дат	Вх						
Исх	Вх	Д	Вх	Дат	Вх						
Исх	Вх	Д	Вх	Дат	Вх						
Исх	Вх	Д	Вх	Дат	Вх						
Исх	Вх	Д	Вх	Дат	Вх						
Исх	Вх	Д	Вх	Дат	Вх						
Исх	Вх	Д	Вх	Дат	Вх						
Исх	Вх	Д	Вх	Дат	Вх						
Исх	Вх	Д	Вх	Дат	Вх						
Исх	Вх	Д	Вх	Дат	Вх						
Исх	Вх	Д	Вх	Дат	Вх						
Исх	Вх	Д	Вх	Дат	Вх						
Исх	Вх	Д	Вх	Дат	Вх						
Исх	Вх	Д	Вх	Дат	Вх						
Исх	Вх	Д	Вх	Дат	Вх						
Исх	Вх	Д	Вх	Дат	Вх						
Исх	Вх	Д	Вх	Дат	Вх						
Исх	Вх	Д	Вх	Дат	Вх						
Исх	Вх	Д	Вх	Дат	Вх						
Исх	Вх	Д	Вх	Дат	Вх						
Исх	Вх	Д	Вх	Дат	Вх						
Исх	Вх	Д	Вх	Дат	Вх						
Исх	Вх	Д	Вх	Дат	Вх						
Исх	Вх	Д	Вх	Дат	Вх						
Исх	Вх	Д	Вх	Дат	Вх						
Исх	Вх	Д	Вх	Дат	Вх						
Исх	Вх	Д	Вх	Дат	Вх						
Исх	Вх	Д	Вх	Дат	Вх						
Исх	Вх										

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Первомайський навчально - науковий інститут

Факультет – Інженерно-економічний

Кафедра «Енергетичне машинобудування»
Спеціальність 142 – «Енергетичне машинобудування»
Освітня програма «Двигуни внутрішнього згоряння»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Гарант освітньої програми

(підпис)
«___»_____ 2025 р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»

Студенту Самойленку Сергію Сергійовичу

1. Тема роботи: Удосконалення конструкції поршневої групи з метою покращення ресурсних показників газового двигуна потужністю 230 кВт.

Прототип – 6ГЧН18/22.

Затверджено розпорядженням ПННІ НУК від 10.02.2025 року № 24.

2. Термін подання студентом роботи до розгляду на кафедрі 12.05.2025 року.

3. Вихідні данні по роботі: Двигун-прототип 6ГЧН18/22, номінальною потужністю 230кВт.

4. Перелік питань, що належать до розробки (найменування розділів):

Вступ.

Розділ 1. Опис конструкції базового двигуна 6ГЧН18/22.

Розділ 2. Розрахунок робочого процесу та динаміки двигуна.

Розділ 3. Проектування конструкції поршня

Розділ 4. Розробка заходів з охорони праці та захисту навколишнього середовища.

Висновки.

5. Перелік презентаційних матеріалів.

1.Складальне креслення ДВГА-230(СК), 2. Двигун 6ГЧН18/22 (СК), 3. Поршень (СК), , 4. Тронк поршня (РК), 5. Головка поршня (РК), 6.Індикаторна діаграма та діаграми сил, що діють в КШМ, ІД

кисень	$O_2 =$	0	$R_{O_2} =$	0
водень	$H_2 =$	0	$R_{H_2} =$	0

3. Параметри робочого тіла.

Теоретично необхідна кількість повітря для згоряння 1 кмоль газу.

$$L_0 = \frac{1}{0.21} \times [0.5(CO + H_2) + \sum (n + 0.25m)C_nH_m - O_2], \text{ кмоль/кмоль}$$

$$L_0 = 9.73 \text{ кмоль/кмоль}$$

Загальна кількість продуктів свіжого заряду.

$$M_1 = 1 + \alpha \times L_0, \text{ кмоль/кмоль}$$

$$M_1 = 19.00 \text{ кмоль/кмоль}$$

Кількість окремих компонентів продуктів згоряння.

$$\begin{aligned} \text{Кількість } CO_2: \quad M_{CO_2} &= CO + \sum (nC_nH_m + CO_2), \text{ кмоль} \\ M_{CO_2} &= 1.043 \text{ кмоль} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Кількість } H_2O: \quad M_{H_2O} &= H_2 + \sum (0.5mC_nH_m), \text{ кмоль} \\ M_{H_2O} &= 2.02 \text{ кмоль} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Кількість } O_2: \quad M_{O_2} &= 0.21 \times (\alpha - 1) \times L_0, \text{ кмоль} \\ M_{O_2} &= 1.73655 \text{ кмоль} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Кількість } N_2: \quad M_{N_2} &= 0.79 \times \alpha \times L_0 + N_2, \text{ кмоль} \\ M_{N_2} &= 14.229 \text{ кмоль} \end{aligned}$$

Загальна кількість продуктів згоряння.

$$M_2 = M_{CO_2} + M_{H_2O} + M_{O_2} + M_{N_2}, \text{ кмоль/кг} \quad 19.029 \text{ кмоль}$$

Змінення об'єму при згорянні 1 кмоль газу.

$$\Delta M = M_2 - M_1, \text{ кмоль}$$

$$\Delta M = 0.031 \text{ кмоль}$$

Теоретичний коефіцієнт молекулярної зміни.

$$\beta_0 = \frac{M_2}{M_1}$$

$$\beta_0 = 1.0016$$

4. Параметри процесу наповнення.

Температура повітря після нагнітача.

$$T_s = T_a \times \left(\frac{P_s}{P_a} \right)^{\frac{n_k - 1}{n_k}}, K$$

$$q = Q_e / Q_n \cdot 100 \%$$

$$q = 33,2 \%$$

Перевірка: $Q'_e = Q_n \cdot \eta_e$

$$Q'_e = 230 \text{ кВт}$$

Вираховуємо похибку

$$\Delta = (Q_e - Q'_e) / Q_e \cdot 100\%$$

$$\Delta = 1,42 \%$$

похибка не перевищує 1%

Теплота, яка відводиться охолоджувальною рідиною:

$$Q_s = Q_w + Q_{г.п} + Q_{в.н.}$$

де Q_w - теплота, яка відводиться робочим тілом в стінки циліндра;

$Q_{г.п.}$ - теплота, еквівалентна роботі на тертя поршня по гільзі циліндра;

$Q_{в.н.}$ -теплота, еквівалентна роботі на привід водяного насосу.

Теплообмін між робочим тілом і стінками циліндра.

$$Q_w = (-W_{нап.} + W_{СТ} + W_{г.р.} + W_{вип.}) \cdot Q_n$$

де $W_{нап.}$, $W_{ст.}$, $W_{г.р.}$, $W_{вип.}$ - відповідно відносні втрати палива на ділянках наповнення, стиску, горіння-розширення та випуску газів із циліндра.

З експериментальних даних:

$$W_{нап.} = 0 \quad W_{г.р.} = 0,09-0,25 \quad 0,18$$

$$W_{ст.} = 0 \quad W_{вип.} = 0,01-0,07 \quad 0,05$$

$$Q_w = 161,8 \text{ кВт}$$

Теплота, еквівалентна роботі на тертя поршня по гільзі циліндра.

Середній тиск механічних втрат в механізмах двигуна.

$$P_{мд} = (a + v \cdot C_m) \cdot 10^3$$

де $a = 0,088$ $v = 0,0118$ - коефіцієнти для визначення середнього тиску механічних втрат

$$C_m = S \cdot n / 30 \quad \text{середня швидкість поршня}$$

$$C_m = 7,33333333 \text{ м/с}$$

$$P_{мд} = 174,533333 \text{ кПа}$$

Середній тиск тертя поршня:

$$P_{ср.т.} = 0,6 \cdot P_{мд}$$

$$P_{ср.т.} = 104,72 \text{ кПа}$$

Потужність тертя поршнів двигуна:

Розрахунок поршня виконуємо в його небезпечних перерізах від сили тиску газів

1.Площа днища поршня $F_{II} = \frac{\pi * D^2}{4}$ $F_{II} = 0,025 \text{ м}^2$

2.Максимальна сила тиску газів $F_r = F_{II} * P_{га}$ $F_r = 253,83 \text{ кН}$

3.Площа поперечного перерізу поршня по канавці

компресійного кільця $F_{min} = \frac{\pi * (D_k^2 - D_{BH}^2)}{4}$ $F_{min} = 0,003 \text{ м}^2$

4.Напруження стиску в перерізі поршня по канавці компресійного кільця

$$\sigma_{CT} = \frac{F_r}{F_{min}} \quad 73,56 \text{ МПа}$$

Допустимі напруження стиску для поршнів із

чавуну сталі 100 МПа

5.Питомий тиск поршня на втулку робочого циліндру

$$K = \frac{F_N}{D * L_{II}} \quad K = 1,02 \text{ МПа}$$

Допустимий питомий тиск для поршнів із

сталь 0,5...1,5 МПа

6.Питомий тиск в бобишках поршня

$$q = \frac{F_r}{d * l_p} \quad q = 42,31 \text{ МПа}$$

Допустимий питомий тиск для поршнів із

алюмінію 65 МПа

7.Перевірка бобишків поршня на зріз

Площа зрізу бобишків поршня $A = \frac{2 * \pi * (D_o^2 - d^2)}{4}$ $A = 0,00687 \text{ м}^2$

Напруження зрізу в бобишках поршня

$$\tau = \frac{F_r}{A} \quad \tau = 36,95 \text{ МПа}$$

Допустимі напруження зрізу для поршнів із

алюмінію 50 МПа

Розрахунок днища поршня

ДОДАТКИ

ДОДАТОК 1 Загальний вид електростанції,СК, А1

ДОДАТОК 2 Газовий двигун 6ГЧН18/22 (Поперечний розріз), СК, А1

ДОДАТОК 3 Поршень, СК, А1

ДОДАТОК 4 Тронк поршня, РК, А1

ДОДАТОК 5 Головка поршня, РК, А1

ДОДАТОК 6 Діаграма індикаторна та сил, що діють на КШМ

					ПННІ НУК 142.41.25.03 ПЗ	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

негативного впливу його роботи на обслуговуючий персонал і на навколишнє середовище.

Доповідь закінчено. Дякую за увагу та чекаю на запитання.

Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1			
2			
3			
4			

Дата видачі завдання «10» лютого 2025р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Номер	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ.	24.02.2025	
2	Загальний розділ.	10.03.2025	
3	Конструкторський розділ.	31.03.2025	
4	Науковий розділ.	07.04.2025	
5	Охорона праці та навколишнього середовища.	14.04.2025	
6	Загальні висновки по кваліфікаційній роботі.	28.04.2025	
7	Оформлення кваліфікаційної роботи	12.05.2025	

Студент _____ *Самойленко С.С.*

(підпис)

Керівник роботи _____ *Дубовець А.І.*

(підпис)

$$T_B = 363,5 \text{ K}$$

Температура повітря після охолоджувача.

$$T_{\text{int}} = T_B - (30 - 70^\circ \text{K})$$

$$\begin{aligned} \text{число з інтервалу} &= 30 \\ \Delta T_{\text{int}} &= 333,5 \text{ K} \end{aligned}$$

Температура газоповітряної суміші.

$$T_{\text{cm}} = \frac{T_{\text{int}} + \alpha \times L_0 \times T_r}{1 + \alpha \times L_0}, \text{ K}$$

$$T_{\text{cm}} = 320,7 \text{ K}$$

де $T_r = 310 \text{ K}$ - температура поступаючого газу.

Коефіцієнт залишкових газів.

$$\gamma_r = \frac{T_{\text{cm}} + \Delta T}{T_r} \times \frac{P_r}{\varepsilon \times P_d - P_r}$$

$$\text{де } P_d = 0,95 \times P_e$$

$$P_d = 171,0 \text{ кПа}$$

$$\gamma_r = 0,046$$

Коефіцієнт наповнення.

$$\varphi_n = \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \times \frac{P_d}{P_e} \times \frac{T_{\text{cm}}}{T_{\text{cm}} + \Delta T + \gamma_r T_r}$$

$$\varphi_n = 0,92$$

Температура газоповітряної суміші на початку стиску.

$$T_d = \frac{T_{\text{cm}} + \Delta T + \gamma_r \times T_r}{1 + \gamma_r}, \text{ K}$$

$$T_d = 345 \text{ K}$$

5. Параметри процесу стиску.

Тиск в кінці стиску.

$$P_c = P_d \times \varepsilon^{n_1}, \text{ кПа}$$

$$P_c = 4481,7 \text{ кПа}$$

Температура в кінці стиску.

$$T_c = T_d \times \varepsilon^{n_1 - 1}, \text{ K}$$

$$T_c = 746,3 \text{ K} \quad t_c = 473,3^\circ \text{C}$$

6. Параметри процесу згоряння.

Дійсний коефіцієнт молекулярної зміни.

$$P_n = P_{CP.T} \cdot V_s \cdot n \cdot i / (30 \cdot z)$$

де V_s - робочий об'єм циліндру.

$$V_s = \pi d^2 \cdot S / 4$$

$$V_s = 0,0056 \text{ м}^3$$

$$P_n = 39,1 \text{ кВт}$$

Теплота, еквівалентна роботі тертя поршнів:

$$Q_{T.П.} = P_{П.}$$

$$Q_{T.П.} = 39,1 \text{ кВт}$$

Визначаємо витрату води для відведення теплоти, що передається через стінки втулки циліндру та утворюється при терті поршнів двигуна:

$$Q_B = Q_W + Q_{T.П.}$$

$$Q'_B = 200,8 \text{ кВт}$$

тоді витрата охолоджуючої рідини:

$$V_B = \frac{Q'_B \cdot K}{\rho_e \cdot C_{mg} \cdot \Delta T_e}$$

$$K = 1,2-1,5 - \text{коефіцієнт запасу.} \quad K = 1,5$$

$$\rho_e = 1000 \text{ кг/м}^3 - \text{середня щільність води.}$$

$$C_{mg} = 4,19 \text{ кДж/(кг*град)} - \text{середня теплоємність води.}$$

$$\Delta T_e = 6-10 \text{ К} - \text{температурний перепад води в холодильнику.}$$

$$\Delta T_e = 10 \text{ К}$$

$$V_B = 0,0072 \text{ м}^3/\text{с}$$

Потужність, яка використовується на привід водяного насосу.

$$P_{в.н.} = V_B \cdot \Delta P_e / \eta_{в.н.}$$

$$\text{де } \Delta P_e = 98 \text{ кПа} - \text{гідравлічний опір системи охолодження.}$$

$$\eta_{в.н.} = 0,6 - 0,7 - \text{к.к.д. водяного насосу.}$$

$$\eta_{в.н.} = 0,6$$

$$P_{в.н.} = 1,17 \text{ кВт}$$

$$\text{Тоді } Q_{в.н.} = 1,17 \text{ кВт}$$

Загальна кількість теплоти, яка відводиться охолоджувальною рідиною.

$$Q_e = Q_W + Q_{T.П.} + Q_{в.н.}$$

$$Q_e = 202,0 \text{ кВт}$$

що складає у відсотковому відношенні:

Днище поршня розраховується, як кругла пластина, що закріплена по контуру і навантажена рівномірно розподіленою навантажкою

1. Найбільші нормальні напруження по контуру закріплення:

- в радіальному напрямку

$$\sigma_x = \frac{3 * \xi * r^2 * P_{\max}}{4 * \delta^2}, \text{МПа} \quad \sigma_x = 105,26 \text{ МПа}$$

- в тангенціальному напрямку

$$\sigma_y = \frac{3 * \mu * r^2 * P_{\max}}{4 * \delta^2}, \text{МПа} \quad \sigma_y = 31,58 \text{ МПа}$$

2. Напруження в центрі днища поршня

$$\sigma_x = \sigma_y = \frac{3}{8} * (1 + \mu) * \frac{r^2}{\delta^2}, \text{МПа} \quad \sigma_x = 68,42 \text{ МПа}$$

3. Теплове навантаження днища поршня визначається тепловою напруженістю, під якою мається на увазі кількість теплоти q, що проходить через одиницю поверхні в одиницю часу

$$q = \frac{\alpha * P_e * q_e * Q_n}{3600 * i * F_n}, \text{кВт/м}^2 \quad q = 277,57 \text{ кВт/м}^2$$

Різницю температур між оберненою до камери згоряння поверхнею днища і поверхнею, що охолоджується маслом можна знайти із рівняння для передачі тепла через плоску стінку

$$\Delta t = \frac{q * \delta}{\lambda}, ^\circ \text{C} \quad \Delta t = 84,9 ^\circ \text{C}$$

де $\lambda = 523 \text{ Вт/(м}^\circ \text{C)}$ коефіцієнт теплопровідності для чавуну

При жорсткому заземленні днища по контуру радіальні і тангенціальні напруження від вісьового перепаду температур на периферії і в центрі днища знаходяться по формулі

$$\sigma_r = \sigma_t = \sigma_T = \frac{\alpha * E}{2 * (1 - \mu)} * \Delta t, \text{МПа} \quad \sigma_T = 140,78 \text{ МПа}$$

Сумарні механічні і термічні напруження на периферії

$$\sigma_\Sigma = \sigma_x + \sigma_T, \text{МПа} \quad \sigma_\Sigma = 246,04 \text{ МПа}$$

Допустимі напруження для днищ поршнів із сталі

$$[\sigma] = 400 \text{ МПа}$$

ВСТУП

Двигуни внутрішнього згоряння (ДВЗ) широко застосовуються в усіх галузях народного господарства та в майбутньому залишатимуться важливим джерелом енергії для різноманітних енергетичних установок. Постійне вдосконалення конструкцій ДВЗ зумовлює необхідність розробки нових рішень, які відповідають сучасним вимогам ефективності, надійності та екологічної безпеки. Це ставить перед двигунобудівниками складне, але актуальне завдання — підвищення технічного рівня двигунів відповідно до їх призначення.

ДВЗ є циклічними тепловими двигунами, що, з одного боку, є їхнім недоліком, але з іншого — дозволяє реалізовувати високі температури та тиск газу в робочому процесі. Завдяки цьому вони забезпечують високу економічність у порівнянні з іншими типами теплових двигунів.

Проте розвиток двигунобудування сьогодні відбувається в умовах вичерпання світових запасів нафти, а також посилення вимог до екологічних характеристик — зниження токсичності викидів, рівня шуму й вібрацій. Це ускладнює вдосконалення ДВЗ за технічними параметрами, зокрема ресурсу, ефективності й надійності.

Сучасні двигуни внутрішнього згоряння — це складні технічні системи, які складаються з великої кількості деталей, механізмів і систем. Їхня конструкція суттєво впливає на масу, потужність, паливну економічність та експлуатаційні показники двигуна. Один із перспективних напрямків розвитку — переобладнання дизельних двигунів для роботи на більш дешевому й екологічно чистому паливі, зокрема на природному газі.

У даному дипломному проєкті запропоновано спрощений та вдосконалений варіант конструкції поршневої групи, що має на меті підвищення ресурсних показників газового двигуна за умов його роботи на альтернативному паливі.

					ПННІ НУК 142.41.25.03 ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Анотація

У кваліфікаційній роботі бакалавра обґрунтовано актуальність розробки газового двигуна для стаціонарної електростанції з використанням альтернативного газового палива.

У першій частині пояснювальної записки наведено опис конструкції базового двигуна 6ГЧН18/22, включаючи його силову схему, компоновання основних вузлів, роботу систем змащення, охолодження, газорозподілу, а також принцип дії КШМ.

Розглянуто конструкцію електростанції на базі газового двигуна, визначено вимоги до експлуатаційних параметрів агрегату, враховуючи стабільність частоти обертання для підтримки 50 Гц у мережі.

Проведено термодинамічний розрахунок робочого процесу газового двигуна, визначено основні індикаторні параметри, побудовано теоретичну та дійсну індикаторні діаграми, здійснено розрахунок теплового балансу двигуна та його ефективного ККД.

Здійснено динамічний розрахунок двигуна з побудовою графіків сил, що діють на деталі КШМ, визначено параметри навантаження шатунної та кривошипної частин, оцінено змінні інерційні сили та моменти.

Виконано перевірочні розрахунки на міцність елементів шатунної групи, спроєктовано поршень газового двигуна з урахуванням теплових та силових навантажень.

Розроблено заходи з охорони праці при експлуатації електростанції, враховано санітарно-гігієнічні вимоги, проаналізовано екологічні аспекти впровадження газогенераторного палива з урахуванням зменшення токсичних викидів.

До пояснювальної записки додаються п'ять аркушів креслень формату А1, включаючи креслення поперечного перерізу двигуна 6ГЧН18/22, загальний вигляд електростанції, схему подачі генераторного газу в двигун, креслення поршня та діаграми динамічного навантаження.

$$\beta = \frac{\beta_0 + \gamma_r}{1 + \gamma_r}$$

$$\beta = 1,0016$$

Максимальна температура циклу знаходиться з рівняння балансу:

$$\frac{\xi \cdot 22,4 \cdot Q_H}{(1 + \gamma_r) \cdot (1 + \alpha \cdot L_0)} = \beta_Z \cdot m C_p m_Z \cdot t_Z - (m C_v m_{\text{см}} + 8,314 \lambda) \cdot t_C$$

склад продуктів згорання в об'ємних долях:

$$R_{\text{CO}_2} = \frac{M_{\text{CO}_2}}{M_2}$$

$$R_{\text{CO}_2} = 0,0548$$

$$R_{\text{CO}_2} = \frac{M_{\text{H}_2\text{O}}}{M_2}$$

$$R_{\text{H}_2\text{O}} = 0,1062$$

$$R_{\text{O}_2} = \frac{M_{\text{O}_2}}{M_2}$$

$$R_{\text{O}_2} = 0,0913$$

$$R_{\text{N}_2} = \frac{M_{\text{N}_2}}{M_2}$$

$$R_{\text{N}_2} = 0,7478$$

Мольна теплоємність продуктів згорання:

$$m C_{v_{\text{ме}}} = R_{\text{O}_2} \cdot m C_{v_{\text{O}_2}} + R_{\text{N}_2} \cdot m C_{v_{\text{N}_2}} + R_{\text{H}_2\text{O}} \cdot m C_{v_{\text{H}_2\text{O}}} + R_{\text{CO}_2} \cdot m C_{v_{\text{CO}_2}}$$

$$\text{для } \text{O}_2: m C_{v_{\text{O}_2}} = 19,818 + 418,6 \cdot 10^{-5} \cdot t_z$$

$$\text{для } \text{N}_2: m C_{v_{\text{N}_2}} = 19,818 + 418,6 \cdot 10^{-5} \cdot t_z$$

$$\text{для } \text{CO}_2: m C_{v_{\text{CO}_2}} = 30,05 + 1255,8 \cdot 10^{-5} \cdot t_z$$

$$\text{для } \text{H}_2\text{O}: m C_{v_{\text{H}_2\text{O}}} = 22,416 + 1004,6 \cdot 10^{-5} \cdot t_z$$

Після підстановки одержимо рівняння.

$$m C_{v_{\text{ме}}} = a + b \cdot 10^{-5} \cdot t_z$$

де:

$$a = 22,20$$

$$b = 591,17$$

теплоємність газового палива.

$$q_6 = Q_6 / Q_{II} \cdot 100\%$$

$$q_6 = 28,72 \%$$

Теплота, яка виноситься випускними газами:

$$Q_7 = \frac{B_r}{3.6 \times 224} \left[M_2 \cdot (mC_p'')^{T_{cpz}}_{T_0} \cdot T_{cpz} - M_1 \cdot (mC_p')^{T_d}_{T_0} \cdot T_d \right]$$

$mC_p'' = 8,314 + mC_v$ ізобарна теплоємність продуктів згорання

$mC_p = 8,314 + mC_v$ ізобарна теплоємність свіжого заряду.

$$mC_p'' = 32,16 \text{ кДж/(кмоль} \cdot \text{K)}$$

$$mC_p' = 30,14 \text{ кДж/(кмоль} \cdot \text{K)}$$

$$Q_7 = 259,4 \text{ кВт}$$

Що складає у відсотковому відношенні:

$$q_7 = Q_7 / Q_{II} \cdot 100\%$$

$$q_7 = 36,88 \%$$

Теплота, яка відводиться маслом і затрачується на привід масляного насосу:

Теплота, яка відводиться маслом, від гарячих деталей двигуна.

$$Q_M = (Q_v + Q_{MD}) - Q_6$$

$Q_{MD} = \Delta_{MD} \cdot Q_{II}$ - теплота, еквівалентна роботі на подолання опору в механізмах двигуна.

де $\Delta_{MD} = (P_{MD} / P_{mi}) \eta_i$ - доля втрат в механізмах двигуна.

$$\Delta_{MD} = 0,0684$$

тоді

$$Q_{MD} = 48,1 \text{ кВт}$$

$$Q_{M1} = 7,9 \text{ кВт}$$

Теплота, еквівалентна роботі на привід насоса системи мащення.

Витрата циркуляційного масла.

$$V_M = \frac{\kappa \cdot Q_{M1}}{\rho_M \cdot C_{mm} \cdot \Delta T_M}$$

$\kappa = 1,2 - 1,5$ - коефіцієнт запасу $\kappa = 1,5$

$\rho_M = 900 \text{ кг/м}^3$ - щільність масла

$C_{mm} = 2,094 \text{ кДж/кг}$ - середня теплоємність масла.

$T_M = 6 - 15 \text{ K}$ - температурний перепад масла в охолоджувачі двигуна

$$\Delta T_M = 8 \text{ K}$$

1. ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Технічна інформація про об'єкт застосування двигуна.

Для розміщення трьох когенераційних установок із газовими двигунами типу 6ГЧН18/22 загальною електричною потужністю 690 кВт, як правило, використовуються площі, що вивільняються під час реконструкції промислових об'єктів. У даному проєкті когенераційна установка розміщується на вільній площі існуючої котельні.

Будівля — одноповерхова, збірна, із залізобетонним каркасом і стіновими панелями. Висота до нижнього поясу ферм — 6 м. Приміщення обладнане підвісним краном вантажопідйомністю 1,0 т. Технічний стан будівлі — задовільний; зона, де буде встановлено когенераційну установку, є вільною. У зовнішніх стінах передбачені світлові прорізи. До будівлі підведені всі необхідні інженерні комунікації. Стан навколишнього середовища району — задовільний. Розрахункова температура зовнішнього повітря у найхолодніші п'ять днів становить -20 °С.

Призначення та мета впровадження когенераційної установки

Когенераційна установка на базі газового двигуна-генератора ДвГА-230 з двигуном 6ГЧН18/22 призначена для виробництва електричної енергії для власних потреб котельні, а також для отримання додаткової теплової енергії за рахунок утилізації тепла охолоджуючої рідини, масла, наддувного повітря і вихлопних газів двигуна.

Метою застосування когенераційної установки є зниження витрат споживача на електроенергію в 1,5–2 рази, а також забезпечення додаткового тепlopостачання.

клад і характеристика обладнання

До складу когенераційної установки входить наступне теплотехнічне обладнання: Газовий двигун-генератор ДвГА-230; Утилізаційний водогрійний теплообмінник (ТУВ); Циркуляційні насоси; Насоси підживлення; Градієнт ГМП-20; Газова шафа; Трубопроводи із запірною арматурою; Система стисненого повітря; Система прийому (розраховане місце для обслуговування та спостереження).

					ПННІ НУК 142.41.25.03 ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Abstract

The bachelor's qualification work substantiates the relevance of developing a gas engine for a stationary power plant using alternative gas fuel.

The first part of the explanatory note describes the design of the basic 6GCHN18/22 engine, including its power circuit, layout of the main components, operation of the lubrication, cooling, gas distribution systems, as well as the principle of operation of the KSHM.

The design of a power plant based on a gas engine is considered, the requirements for the operating parameters of the unit are determined, taking into account the stability of the rotation frequency to maintain 50 Hz in the network.

A thermodynamic calculation of the gas engine operating process is carried out, the main indicator parameters are determined, theoretical and actual indicator diagrams are constructed, and the calculation of the engine heat balance and its effective efficiency is carried out.

A dynamic calculation of the engine was carried out with the construction of graphs of forces acting on the parts of the crankshaft, the load parameters of the connecting rod and crank parts were determined, variable inertial forces and moments were estimated.

Verification calculations were made for the strength of the elements of the connecting rod group, the piston of the gas engine was designed taking into account thermal and power loads.

Occupational safety measures during the operation of the power plant were developed, sanitary and hygienic requirements were taken into account, and the environmental aspects of the introduction of gas generator fuel were analyzed taking into account the reduction of toxic emissions.

Five sheets of A1 format drawings are attached to the explanatory note, including a cross-sectional drawing of the 6GCHN18/22 engine, a general view of the power plant, a diagram of the generator gas supply to the engine, a piston drawing and dynamic load diagrams.

$$mCv_{\text{гп}} = R_{\text{CH}_4} \cdot mCv_{\text{CH}_4} + R_{\text{C}_2\text{H}_6} \cdot mCv_{\text{C}_2\text{H}_6} + R_{\text{C}_3\text{H}_8} \cdot mCv_{\text{C}_3\text{H}_8} + R_{\text{C}_4\text{H}_{10}} \cdot mCv_{\text{C}_4\text{H}_{10}} + R_{\text{C}_5\text{H}_{12}} \cdot mCv_{\text{C}_5\text{H}_{12}} + R_{\text{CO}_2} \cdot mCv_{\text{CO}_2} + R_{\text{N}_2} \cdot mCv_{\text{N}_2}$$

$$mCv_{\text{ch}_4} = 12,235 + 5028 \cdot 10^{-5} \cdot t_c$$

$$mCv_{\text{c}_2\text{h}_6} = 7,004 + 12649 \cdot 10^{-5} \cdot t_c$$

$$mCv_{\text{c}_3\text{h}_8} = 14,97 + 17800 \cdot 10^{-5} \cdot t_c$$

$$mCv_{\text{c}_4\text{h}_{10}} = 93,128 + 11621 \cdot 10^{-5} \cdot t_c$$

$$mCv_{\text{c}_5\text{h}_{12}} = 118,06 + 14096 \cdot 10^{-5} \cdot t_c$$

$$mCv_{\text{N}_2} = 20,637 + 255,4 \cdot 10^{-5} \cdot t_c$$

$$mCv_{\text{CO}_2} = 27,545 + 1386 \cdot 10^{-5} \cdot t_c$$

Після підстановки одержимо рівняння.

$$mCv_{\text{гп}} = a + b \cdot 10^{-5} \cdot t_c$$

де:

$$a = 12,60$$

$$b = 5237,5362$$

мольна теплоємність газоповітряної суміші при постійному об'ємі.

$$mCv_{\text{см}} = \frac{mCv_{\text{гп}} + mCv_{\text{пов}} \cdot \alpha \cdot L_0 + mCv_{\text{ме}} \cdot \gamma_r (1 + \alpha \cdot L_0)}{(1 + \alpha \cdot L_0) \cdot (1 + \gamma_r)}$$

Після підстановки одержимо рівняння.

$$mCv_{\text{см}} = a + b \cdot 10^{-5} \cdot t_c$$

де:

$$a = 20,07$$

$$b = 479,36$$

де $mCv_{\text{пов}} = 20,38 + 209,5 \cdot 10^{-5} \cdot t_c$ - мольна теплоємність повітря.

середня мольна теплоємність газоповітряної суміші при постійному тиску.

$$mCv_{\text{см}} = a_{\text{см}} + \frac{b_{\text{см}}}{2} \cdot 10^{-5} \cdot t_c$$

Після підстановки одержимо рівняння.

$$mCv_{\text{см}} = a + b \cdot 10^{-5} \cdot t_c$$

де:

$$a = 20,07$$

$$b = 239,68$$

мольна теплоємність продуктів згоряння при постійному тиску в точці "Z"

$$V_M = 0,0008 \text{ м}^3/\text{с}$$

потужність, яка використовується на привід масляного насоса:

$$P_{M.H.} = \frac{V_M \cdot P_0}{\eta \cdot 10^3}$$

де $P_0 = (0,3 - 0,4) \cdot 10^6 \text{ Па}$ - робочий тиск масла в системі.

$$P_0 = 400000 \text{ Па}$$

$\eta_m = 0,7 - 0,9$ - механічний к.к.д. масляного насоса.

$$\eta_m = 0,7$$

$$P_{M.H.} = 0,45 \text{ кВт}$$

тоді $Q_{H2} = 1000 \cdot P_{MH}$

$$Q_{M2} = 0,4 \text{ кВт}$$

Загальна кількість теплоти складає:

$$Q_M = Q_{M1} + Q_{M2}$$

$$Q_M = 8,3 \text{ кВт}$$

у відсотковому відношенні

$$q_M = Q_M / Q_{\Pi} \cdot 100\%$$

$$q_M = 1,19 \%$$

Невраховані теплові втрати

$$Q_{H.B.} = Q_{\Pi} - (Q_e + Q_c + Q_{\text{газ}} + Q_M)$$

$$Q_{H.B.} = 0,2 \text{ кВт}$$

що складає у відсотковому відношенні:

$$q_{H.B.} = Q_{H.B.} / Q_{\Pi} \cdot 100\%$$

$$q_{H.B.} = 0,03 \%$$

Всі отримані дані зведені в таблицю 2.5

Таблиця 2.5 Зведена таблиця теплового балансу.

Складові теплового балансу	кВт	%
теплота, еквівалентна ефективній роботі	233,3	33,2
теплота, яка відводиться охолоджувальною рідиною	202,0	28,7
теплота, яка виноситься випускними газами	259,4	36,9
теплота, яка відводиться маслом	8,3	1,2
невраховані теплові втрати	0,2	0,03
Загальна кількість теплоти, введеної в двигун з паливом	703,3	100

Основні технічні дані газового двигун-генератора ДвГА-230:

- повна потужність на вихідних клеммах генератора, кВт	230
- мінімальна потужність при тривалій роботі, кВт	80
- питома витрата циркуляційного масла на угар, г/(кВт·год)	0,9
- тиск газу на вході в редуктор, МПа, не більше	0,3
- вид струму -	змінний, 3-х фазний
- напруга, В	400
- частота, Гц	50
- назначений ресурс безперервної роботи, годин	1000
- маса двигун -генератора, кг	4695
Габаритні розміри, мм	
- довжина	3370
- ширина	942
- висота	1763

Двигун-генератор автоматизований по 2-й ступені ГОСТ 14228-80 із виконанням наступних операцій:

- автоматичне регулювання частоти обертання валу двигуна, напруги і температури в системах охолодження і мащення;
- місцеве і дистанційне управління пуском, остановкою, передпусковими і післяостановочними операціями;
- автоматичне заряджання АКБ, забезпечуючий пуск і живлення засобів автоматизації (при пуску електростартера);
- автоматична аварійно-попереджувальна сигналізація і захист;
- індикація значень контрольованих параметрів на місцевому щитку і дистанційному пульті.
- дистанційне автоматизоване і автоматичне керування пуском, остановкою, передпусковими і післяостановочними операціями;
- автоматичний прийом навантаження при автономній роботі або видача сигналу про готовність до прийому навантаження;

					ПННІ НУК 142.41.25.03 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$mCp_z = 8,314 + 19,86 + \frac{1,68}{\alpha} + \left(427,38 + \frac{184,36}{\alpha} \right) \cdot 10^{-5} t_z$$

Після підстановки одержимо рівняння.

$$mCv_{cm} = a + b \cdot 10^{-5} \cdot t_z$$

де:

$$a = 29,082$$

$$b = 527,034$$

середня мольна теплоємність продуктів згоряння при постійному тиску в точці "Z".

$$mCp_{m_z} = a + \frac{b}{2} \cdot 10^{-5} t_z$$

$$a = 29,082$$

$$b = 263,517$$

Максимальна температура процесу згоряння.

Після підстановки одержимо квадратне рівняння.

$$A \cdot 10^{-5} \times t_z^2 + B \times t_z - C = 0$$

де:

$$A = 263,928$$

$$B = 29,127$$

$$C = 52641,968 \quad 81263,2$$

Звідки:

$$t_z = \frac{-B + \sqrt{B^2 + 4 \times A \times 10^{-5} \times C}}{2 \times A \times 10^{-5}}, K$$

$$t_z = 1580,9 \text{ C} \quad T_z = 1853,9 \text{ K}$$

Максимальний тиск згоряння.

$$p_{\max} = \beta \times P_c \times T_z / T_c, \text{ кПа}$$

$$p_{\max} = 11150,1 \text{ кПа}$$

Ступінь підвищення тиску

$$\lambda = P_{\max} / P_c$$

$$\lambda = 2,49$$

$$\Delta \lambda = 0,48 \%$$

$\Delta \lambda$ повинна бути в межах 10%

Ступінь попереднього розширення.

- автоматизація спільної роботи двигунів, у тому числі автоматичний прийом навантаження в ході синхронізації при паралельній роботі ДвГ А між собою або із зовнішньою мережею;
- автоматична підтримка двигуна в готовності до швидкого прийому навантаження;
- автоматизований екстрений пуск і остановка;

Генератор синхронний типу Leroy Somer LSA 46.2 VL12, трьохфазний із статичною системою збудження, автоматичним регулюванням напруги, одноопорний, щітковий.

Основні технічні характеристики ТУВ

Теплообмінник утилізаційний водогрійний конструктивно виконаний одноступеневим, водотрубним, двооходовим по воді, теплообмінні трубки оребрені, сталевалюмінієві. Теплообмінник складається із чотирьох секцій, з'єднаних поміж собою послідовно по ходу випускних газів.

Циркуляція води в системі охолодження двигуна виконується навісним водяним насосом двигуна ($Q = 27 \text{ м}^3/\text{год}$, $H = 18 \text{ м. вод. ст.}$)

Для обліку тепла, що відводиться від двигуна і подається споживачам використовується лічильник тепла СВТУ-10М.

Для обліку витрати газу двигун-генератором використовується лічильник GMS-G160.

Постачання повітря для пуску газового двигуна

Для пуску двигуна передбачена система стиснутого повітря, яка містить в собі:

- електричний компресор автоматизований LT-40 для отримання і нагнітання в балон стиснутого повітря із автоматичною підтримкою тиску в ньому ($p = 3 \text{ МПа}$);
- балон стиснутого повітря ($V = 200 \text{ л}$);
- трубопроводи і арматура.

Система прийому, зберігання та заміни масла

					ПННІ НУК 142.41.25.03 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\rho = \frac{\beta \times T_z}{\lambda \times T_c}$$

$$\rho = 1$$

7. Параметри процесу розширення.

Ступінь подальшого розширення.

$$\delta = \frac{\varepsilon}{\rho}$$

$$\delta = 12,1$$

Тиск в кінці розширення.

$$p_{\delta} = \frac{p_{\max}}{\delta^{n_2}}, \text{ кПа}$$

$$p_b = 436,2 \text{ кПа}$$

Температура в кінці розширення.

$$T_{\delta} = \frac{T_z}{\delta^{n_2-1}}$$

$$T_b = 877,5 \text{ К}$$

Середня температура випускних газів.

$$T_{\text{ср.г.}} = \frac{T_b}{K'} \left[1 + (K'' - 1) \frac{p_r}{p_b} \right]$$

$$T_{\text{ср.г.}} = 727,4 \text{ К}$$

де $K' = 1,4$; $K'' = 1,35$ - емпіричні коефіцієнти.

Температура залишкових газів.

$$T_r = \frac{T_b}{\sqrt{\frac{p_b}{p_r}}}$$

$$T_r = 676,6 \text{ К}$$

$$\text{Перевірка: } \frac{|T_r^{\text{з}} - T_r|}{T_r^{\text{з}}} \times 100 \% = 9,78 \%$$

8. Індикаторні показники робочого процесу.

Середній теоретичний індикаторний тиск.

$$P'_{mi} = \frac{\xi \cdot P_c}{\varepsilon - 1} \times \left[\lambda \times (\rho - 1) + \frac{\lambda \times \rho}{n_2 - 1} \times \left(1 - \frac{1}{\delta^{n_2-1}} \right) - \frac{1}{n_1 - 1} \times \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_1-1}} \right) \right], \text{ кПа}$$

Система прийому, зберігання та подачі масла

Для забезпечення поточної витрати масла в проєкті передбачено встановлення бака запасу масла об'ємом 600 л.

Подача масла в бак здійснюється насосом типу НМШ 5-25-4,0/4 з пересувної ємності.

Протипожежні заходи

Будівля, в якій розміщується когенераційна установка, має:

I ступінь вогнестійкості;

Категорію виробництва – “Г”;

Підвал відсутній.

Передбачено безпечну евакуацію людей у разі пожежі — будівля обладнана двома рознесеними евакуаційними виходами.

Усі конструктивні елементи виконані з негорючих матеріалів. Встановлені легкоскидальні конструкції (віконні прорізи) для аварійного тисковідведення.

Газопостачання

В якості палива для газового двигун-генератора використовується природний газ.

Максимальна витрата газу при номінальному навантаженні становить 74 м³/год.

Підключення передбачається до діючого газопроводу.

Діаметр запроектованого газопроводу визначається гідравлічним розрахунком на пропускання максимальної витрати.

Свічки продувочного та скидного трубопроводу виведені на 1 м вище рівня даху. Для обліку витрати газу встановлено лічильник типу GMS-G160.

Опалення та вентиляція

Опалення приміщення когенераційної установки передбачається із розрахунку:

компенсації тепловтрат через огорожувальні конструкції;

					ПННІ НУК 142.41.25.03 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P_{mi} = 956,12 \text{ кПа}$$

Індикаторний ККД.

$$\eta_i = 1,985 \frac{(1 + \alpha \cdot L_0) T_{cm} \cdot P_{mi}}{Q_H \cdot P_d \cdot \Phi_c \cdot 22,4} \cdot 4,186$$

$$\eta_i = 0,37$$

Питома індикаторна витрата газу.

$$g_i = \frac{3600}{Q_H \times \eta_i}, M^3 / (\text{квт} \cdot \text{год})$$

$$g_i = 0,26 \text{ м}^3 / (\text{квт} \cdot \text{год})$$

9 Ефективні показники робочого циклу.

Середній тиск механічних втрат.

$$P_M = 0,088 + 0,0118 \times V_{п.ср}, \text{кПа}$$

Середня швидкість поршня.

$$V_{п.ср.} = \frac{S_{пп.} \times n}{30}, M / C$$

$$S_{пп.} = 0,22 \text{ - хід поршня, м}$$

$$V_{п.ср.} = 7,333333 \text{ м/с}$$

$$P_M = 122,2 \text{ кПа}$$

Середній ефективний тиск.

$$P_{me} = P_{mi} - P_m, \text{кПа}$$

$$P_{me} = 833,94 \text{ кПа}$$

Механічний К.К.Д.

$$\eta_M = \frac{P_{me}}{P_{mi}}$$

$$\eta_M = 0,87$$

Ефективний К.К.Д.

$$\eta_e = \eta_i \times \eta_M$$

$$\eta_e = 0,327$$

Питома ефективна витрата газу.

$$b_e = \frac{g_i}{\eta_m}, M^3 / (\text{квт} \cdot \text{год}).$$

забезпечення нормованої температури повітря за рахунок нагріву вентиляційного повітря.

У робочий час підтримка температури в приміщенні здійснюється за рахунок тепловиділення від працюючого двигун-генератора.

У період монтажу або ремонтних робіт температура підтримується за допомогою тепловентилятора з електропідігрівом.

В приміщенні когенераційної установки передбачається приточно-витяжна вентиляція із механічним та природним примусом. Загальнообмінна витяжна вентиляція із природним примусом із трьохкратним обміном повітря за годину передбачається із верхньої зони. На додаток до природньої витяжки передбачена механічна. Для компенсації витяжки передбачена приточна вентиляція, як природна так і механічна. Приток повітря в приміщення виконується від вентилятора, на додаток до механічного притоку в теплу пору року передбачений природний через відкриті фрамуги вікон та ворота.

В холодну і перехідну пору року для запобігання подачі холодного повітря передбачено змішування зовнішнього і внутрішнього повітря, для чого передбачена перемикачка.

Водопостачання і каналізація

Проектом передбачається двоконтурна система охолодження: охолоджувачем є оборотна вода, що охолоджується у вентиляторній градирні ГМП-20. Витрата води на підпитку градирні і теплової мережі – 1,5 м³/добу.

Джерелом водопостачання є діюча мережа водопроводу діаметром 100 мм.

Водопровід запроектований із сталевих труб діаметром 20 мм по ГОСТ 3262-75.

Дренажна вода із двигун-генератора при ремонтах скидається в запроектовану мережу виробничої каналізації із чавунних каналізаційних труб діаметром 100 мм.

					ПННІ НУК 142.41.25.03 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$b_e = 0,301 \text{ м}^3/(\text{кВт} \cdot \text{год})$$

Годинна витрата газу.

$$B = b_e \times P_e, \text{ м}^3/\text{год}$$

$$B = 69,2 \text{ м}^3/\text{год}$$

10 Основні розміри циліндра і двигуна.

Літраж двигуна.

$$V_{st} = 30 \times Z \times \frac{P_e \times 10^3}{P_{me} \times n}, \text{ л}$$

$Z = 4$ - Коефіцієнт тактності.

$$V_{st} = 33,10 \text{ л}$$

$$V_s = \frac{V_{st}}{i}, \text{ л}$$

$$V_s = 5,52 \text{ л}$$

Діаметр циліндра.

$$d = 100 \times \sqrt{\frac{4 \times V_s}{\pi \times m}}, \text{ мм}$$

$$m = \frac{S_{пп}}{d_{пп}}$$

$$d_{пп} = 0,18 \text{ м}$$

$$m = 1,2222222$$

$$d = 179,1 \text{ мм}$$

Хід поршня.

$$S = m \times d, \text{ мм}$$

$$S = 219,0 \text{ мм}$$

11 Уточнені розміри циліндра двигуна.

Діаметр циліндра.

$$d = 180 \text{ мм}$$

Хід поршня.

$$S = 220 \text{ мм}$$

Літраж двигуна.

$$V_{st} = \frac{\pi \times d^2 \times S \times i}{4 \times 10^6}, \text{ л}$$

$$V_{st} = 33,57 \text{ л}$$

Робочий об'єм ходу поршня.

$$V_s = \frac{V_{st}}{i}$$

$$V_s = 5,60 \text{ л}$$

Електро - технічні рішення

Паралельна робота ДвГА-230 із електричною мережою Обленерго забезпечується комплектним електрообладнанням двигун-генератора – збуджуючим пристроєм УВГС, низьковольтним пристроєм УКН-400.

Основним споживачем електроенергії є допоміжне технологічне обладнання – маслonaсос сітьовий, підпиточний і циркуляційний насоси, сантехнічна вентиляція і освітлення, вентилятор градирні, щит КВП і прибор пожежного контролю, електроосвітлення.

Розподіл електроенергії до цих споживачів виконується від щита власних потреб (ЩВП) – силового шкафа із автоматами серії ПР11 підключеного до УКН-400.

Електричні мережі до допоміжного обладнання виконуються дротами АВВГ, прокладеними по стінам на дужках. Силові мережі і контрольні ланцюги двигун-генератора, комплектного збуджуючого пристрою УВГС і низьковольтного комплектного щита УКН-400 виконуються дротами ВВГ, КВВГ, прокладеними в канаві.

Проектом передбачене робоче, аварійне і ремонтне освітлення. Аварійне освітлення виконано вибухозахищеними світильниками, що вмикаються зовні і служить для включення освітлення після перерви в роботі, крім того в районі щитів передбачений стаціонарний акумуляторний світильник із під зарядним пристроєм.

В якості джерела світла для робочого освітлення вибрані газорозрядні лампи, для аварійного – лампи розжарювання.

Напруга мережі загального освітлення 380/220 В, на світильниках – 220 В, ремонтного – 36 В.

Для захисту людей від враження електричним струмом при пошкодженні ізоляції передбачається захисне занулення і заземлення всіх не струмоведучих частин електрообладнання, металевих корпусів щитів, сталевих конструкцій електропроводки, повітряних трубопроводів, нульовими жилами дротів,

					ПННІ НУК 142.41.25.03 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ефективна потужність двигуна.

$$P_{ep} = \frac{P_{me} \cdot V_{St} \cdot n}{30 \cdot Z \cdot 10^3}, KВт$$

$$P_{ep} = 233,3 \text{ кВт}$$

Отримана величина P_{ep} відрізняється від заданої на:

$$\Delta P_e = \frac{P_{ep} - P_e}{P_{esp}} \times 100\%$$

$$P_{esp} = \frac{P_{ep} + P_e}{2}$$

$$P_{esp} = 231,7 \text{ кВт}$$

$$\Delta P_e = 1,43 \%$$

Так як значення $\Delta P_e < 5\%$, то розрахунок робочого процесу двигуна виконаний вірно.

сталевими полосами 40·4 і 25·4 внутрішнього заземлення приміщення ДЕС.Проектований контур заземлення з'єднується із наявним контуром заземлення цеху.

Заземлення нейтралі генератора виконано з'єднанням його до контуру заземлення проектового приміщення ДЕС гнучким голим мідним дротом.

Захист від блискавки димової труби, продувочних свічок газопроводів забезпечується стержневим блискавкоприймачем, закріпленим на димовій трубі і з'єднаним із електродами зовнішнього контуру заземлення.

Пожежна сигналізація, газоаналіз і газове пожежогасіння

Пожежна сигналізація.

В якості приймально - контрольного пожежного приладу прийнятий прилад СА-4 із вбудованим блоком живлення і акумулятором. Прилад встановлений в приміщенні когенераційної установки. Напруга живлення -220 В, 50Гц, споживана потужність –5 Вт. Резервне живлення виконується від акумулятора, вмонтованого в прилад.

Автоматичні пожежні сигналізатори комбіновані ИПК-1 монтуються на трасі під стелею приміщення, що захищається, ручні (ИПР) на стінах на висоті 1,5 м від рівня підлоги. Світлозвуковий пристрій встановлюється на фасаді. Сигнал про пожежу передається на пульт чергового.

Газоаналіз

В проекті передбачається слідуєчий об'єм сигналізації:

а) безперервний контроль об'ємної частки природного газу у повітрі;

б) видача звукового і світлового сигналів про перевищення встановлених рівнів об'ємної частки природного газу у повітрі. Світлозвуковий пристрій встановлюється на фасаді. Сигнал про перевищення встановлених рівнів об'ємної частки природного газу у повітрі передається на пульт диспетчера.

Для контролю вибухонебезпечних концентрацій природного газу у повітрі використовується детектор витікання газу GS-133.

					ПННІ НУК 142.41.25.03 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Газове пожежегасіння

Для захисту від пожежі двигун-генератора передбачена локальна автоматична установка газового пожежегасіння, що працює як в автоматичному так і в ручному режимі. Ручний (місцевий) пуск виконується із приміщення когенераційної установки.

Установка автоматичного пожежегасіння забезпечує знаходження місця запалювання і подачу сигналу про пожежу, спрацювання установки і випуск вогнегасного матеріалу над устаткуванням що захищається і тушіння пожежі в початковій стадії горіння.

Облік витрат природного газу передбачається лічильником GMS-G160, а облік теплової енергії, що виробляється установкою тепловодолічильником СВТУ-10М.

Контроль складу димових газів від ДвГА-230 виконується переносним газоаналізатором.

1.2 Опис конструкції двигуна-прототипу

Дизелі ряду 6Ч 18/22 чотиритактні, простого дії, вертикальні, однорядні з напіврозділеною камерою згоряння (камера в поршні), нереверсивні випускаються декількох модифікацій. Залежно від призначення дизелі мають деякі конструктивні відмінності: дизелі без наддування – 6Ч 18/22, з наддуванням - 6ЧН 18/22 для привода генератора потужністю відповідно 155 і 225 кВт; дизелі з реверс-редукторною передачею.

Фундаментна рама дизеля лита, із чавуну, коробчатої форми. Рама має поперечні перегородки з розточеними постелями для нижніх вкладишів корінних підшипників. Корінних підшипників сім; останній підшипник розширений для прийняття додаткового навантаження від ваги маховика.

Нижня частина рами є збірником і резервуаром масла. У нижній частині передньої торцевої стінки рами розташована пробка для зливу масла, а на передній стінці, крім того, є два люки із фланцем для підключення

					ПННІ НУК 142.41.25.03 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

усмоктувального трубопроводу резервного масляного насоса й для підключення нагнітального трубопроводу резервного масляного насоса.

На бічних стінках фундаментної рами є два отвори, заглушені фланцями, для відкачки масла з дизеля. У середині середньої нижньої частини рами на бобишках кріпиться масляний фільтр, якому можна виймати для чищення через оглядовий люк.

На зовнішніх бічних поверхнях уздовж рами є опорні лабети для кріплення дизеля до фундаменту й різьбові отвори під віджимні болти для центрування дизеля при монтажі. На верхній площині рами є канавки, у які покладений

гумовий шнур 15, що забезпечує ущільнення між рамою й блоком циліндрів.

Вентиляція картера незалежна, виробляється в атмосферу через шостий оглядовий лючок, розташований з боку вихлопу. Лючок має фланець для приєднання вентиляційного трубопроводу. Вентиляційні труби повинні виводитися на верхню відкриту палубу й мати вогневі запобіжники й пристрої, що не допускають влучення води в дизель. Об'єднання вентиляційних труб декількох дизелів не допускається.

Блок циліндрів цільний, відлитий із чавуну. Він кріпиться до фундаментної рами чотирнадцятьма силовими шпильками й двадцятьма шістьма болтами по краях для ущільнення стику. Шість циліндрових втулок - вставні, відлиті із чавуну із присадкою нікелю й хрому. Ущільнення водяної порожнини в місцях запресовування втулок досягається у верхній частині притисненням притертого буртика втулки до блоку, унизу - трьома ущільнювальними гумовими кільцями, покладеними в канавки втулок. Простір між циліндровими втулками й стінками блоку є сорочкою для охолодної води.

Кришки циліндрів відлиті із чавуну. Кришка циліндрів має усмоктувальні й вихлопний клапани однакової конструкції, виготовлені з жаростійкої сталі. Клапани переміщуються в напрямних втулках, запресованих у кришку циліндра. Сідла клапанів також запресовані в кришку.

					ПННІ НУК 142.41.25.03 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Повітрязбирач із автоматичною повітряною заслінкою змонтований на алюмінієвій плиті. Автоматична повітряна заслінка виконує роль граничного вимикача й забезпечує захист дизеля від розносу.

Випускний колектор звареної конструкції, ізольований, неохолоджуваний. Випускний колектор обгороджений захисним кожухом для запобігання обслуговуючого персоналу від опіків.

Колінчатий вал з маховиком сталевий, цільнокований, має шість шатунних і сім корінних шийок. Коліна вала розташовані під кутом 120° друг до друга, причому перше коліно по напрямку збігається із шостим, друге — з п'ятим, третє — із четвертим. У кожному коліні є косе свердління (масляний канал), що з'єднує радіальний отвір у корінних і шатунних шейках вала. Отвори призначені для підведення масла до шатунних шийок і до верхньої головки шатуна через отвори в ньому. Четверта корінна шийка є упорною. До фланця заднього кінця колінчатого вала за допомогою контрольних штифтів і болтів закріплено маховик.

Поршень чавунний, суцільнолитий. У днищі поршня є камера згоряння об'ємом $325 \pm 5 \text{ см}^3$. У кільцевих канавках поршня розміщені чотири компресійних, одне здвоєне й одне одинарне маслосховище хромовані кільця. Одинарне маслосховище без радіусних фрезерувань розташовано вище пальця, здвоєні маслосховища з радіусними фрезеруваннями - нижче. Маслосховища кільця встановлюються меншою торцевою поверхнею вниз, тобто шкребком нагору. Поршень з'єднується із шатуном за допомогою порожнього сталевих цементованого й загартованого пальця 5 плаваючого типу. Від осевих переміщень палець утримується стопорними кільцями 6. На поверхні поршня, навколо отворів для пальця, розташовані поглиблення - холодильники.

Шатун має верхню головку, стрижень і нижню (шатунну) головку. Стрижень шатуна двотаврового перетину має глухий некрізний центральний отвір і два бічних свердління в нижній головці для підведення змащення до головного підшипника. У верхню головку запресована бронзова втулка. Нижня

					ПННІ НУК 142.41.25.03 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

головка шатуна рознімна, скріплюється двома болтами. У нижній головці розміщені верхній і нижній вкладиші з біметалічної смуги, плакованої сплавом АСМ.

Розподільний вал зібраний із двох частин, з'єднаних між собою болтами й гайками. Вал обертається в сімох підшипниках, гнізда яких розташовані в бічній частині блоку циліндрів. Розподільний вал має усмоктувальні «а» і вихлопні «b» кулачки для кожного циліндра. Кулачки виконані за одне ціле з розподільним валом. На передній кінець розподільного вала насаджені упорна втулка й шестірня привода розподільного вала.

					ПННІ НУК 142.41.25.03 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1 Вимоги до проектованого двигуна та вибір вихідних даних робочого циклу.

Для забезпечення економічності роботи двигуна необхідно приділити увагу всім параметрам, що впливають на витрату палива та мастила.

Крім опрацювання параметрів робочого циклу, що забезпечують високий ефективний ККД, необхідно також раціонально сконструювати допоміжні системи двигуна, обрати оптимальні режими охолодження, змащування, наддуву тощо.

Надійність двигуна досягається завдяки грамотному конструктивному виконанню. Розрахунки на міцність основних деталей корпусу та кривошипно-шатунного механізму повинні бути виконані відповідно до допустимих значень сил та напружень, що виникають під час роботи. Також необхідно враховувати умови експлуатації, зокрема зміну навантаження, температури, пускові режими тощо.

Шумові характеристики повинні відповідати сучасним вимогам. Це досягається шляхом: встановлення глушників шуму; застосування конструктивних рішень щодо зниження шуму у вузлах двигуна (наприклад, шестерні з косими зубами, демпфуючі опори тощо).

Токсичність вихлопних газів повинна бути мінімізована шляхом правильного підбору: параметрів згоряння палива; кута випередження впорскування; коефіцієнта надлишку повітря.

При проектуванні конструкції двигуна слід передбачити:

зручний доступ до основних вузлів для обслуговування та ремонту; взаємозамінність основних деталей; можливість демонтажу поршня з шатуном через гільзу циліндра; мінімальне захащення трубопроводами, уникнення зайвих навішаних елементів, які доцільніше винести за межі двигуна.

					ПННІ НУК 142.41.25.03 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Загалом, завдяки комплексному підходу до конструювання, детальному опрацюванню на стендових випробуваннях і під час експлуатації, можна досягти рівня, що відповідає вимогам сучасного двигунобудування.

Особливості вибору параметрів двигуна для електростанції

Оскільки двигун застосовується у складі когенераційної електростанції, основними визначальними параметрами є: Потужність двигуна, що повинна забезпечувати необхідний рівень електричної енергії для споживача; Частота обертання колінчастого вала, яка має відповідати вимогам підтримання стабільної частоти струму 50 Гц; Система автоматичного регулювання частоти обертання повинна забезпечувати стійку роботу двигуна на всіх режимах навантаження без просадок або перенапруг.

Таким чином, при проектуванні двигуна для електрогенератора першочергове значення мають енергетичні, надійнісні та екологічні характеристики, які формуються як за рахунок вибору параметрів робочого циклу, так і через якісні інженерні рішення на етапі конструктивного опрацювання.

Вихідні дані для розрахунку двигуна, що проектується в даному дипломному проекті:

- потужність двигун-генератора – 230 кВт;
- паливо – генераторний газ
- призначення – стаціонарна електростанція.

					ПННІ НУК 142.41.25.03 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

					ПННІ НУК 142.41.25.03 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

					ПННІ НУК 142.41.25.03 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

					ПННІ НУК 142.41.25.03 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

					ПННІ НУК 142.41.25.03 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

					ПННІ НУК 142.41.25.03 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

					ПННІ НУК 142.41.25.03 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

					ПННІ НУК 142.41.25.03 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

					ПННІ НУК 142.41.25.03 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

					ПННІ НУК 142.41.25.03 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

					ПННІ НУК 142.41.25.03 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.3 Побудова індикаторної діаграми

Розрахунок теоретичної індикаторної діаграми

Вихідні дані:

Середній індикаторний тиск	$P_{mi} = 1,122 \text{ МПа}$
Тиск в кінці впуску	$P_d = 0,166 \text{ МПа}$
Показник політропи стиску	$n_1 = 1,34$
Ступінь стиску	$\varepsilon = 10,5$
Максимальний тиск в циліндрі	$P_{max} = 10, \text{ МПа}$
Показник політропи розширення	$n_2 = 1,28$
Ступінь попереднього розширення	$\rho = 1$
Маштаб по осі тиску	$m_p = 0,05 \text{ МПа/мм}$

Розрахунок лінії стиску.

$$P_{ст} = \frac{P_d \times \varepsilon^{n_1}}{\left(\frac{V}{V_c}\right)^{n_1}}, \text{ МПа}$$

де V/V_c – змінний об'єм.

$$P_{ст_1} = \frac{0,166 \times 10,5^{1,34}}{1^{1,34}} = 3,88 \text{ МПа}$$

$$P_{ст_{10,5}} = \frac{0,166 \times 10,5^{1,34}}{10,5^{1,34}} = 0,166 \text{ МПа}$$

Розрахунок лінії розширення.

$$P_{роз} = \frac{P_{max} \times \rho^{n_2}}{\left(\frac{V}{V_c}\right)^{n_2}}, \text{ МПа}$$

$$P_{роз_1} = \frac{10,011 \times 1^{1,28}}{1^{1,28}} = 10,011 \text{ МПа}$$

$$P_{роз_9} = \frac{10,011 \times 1^{1,28}}{10,5^{1,28}} = 0,493 \text{ МПа}$$

Результати розрахунків зводимо в таблицю 2.1.

					ПІННІ НУК 142.41.25.03 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.1 Результати розрахунків теоретичної індикаторної діаграми

V/V_c	$P_{ст}, \text{МПа}$	$P_{ст}, \text{мм}$	$P_{роз}, \text{МПа}$	$P_{роз}, \text{мм}$
1	4,433	88,6	10,919	218,4
2	1,787	35,7	4,434	88,7
3	1,051	21	2,618	52,3
4	0,721	14,4	1,801	36
5	0,538	10,7	1,347	26,9
6	0,424	8,5	1,063	21,2
7	0,346	6,9	0,87	17,4
8	0,290	5,8	0,731	14,6
9	0,249	4,9	0,628	12,5
10	0,217	4,3	0,547	10,9
11	0,191	3,8	0,483	9,6
12	0,171	3,4	0,432	8,6
$P_{mi}^{\text{л}} = 0,975$				

Об'єм камери згорання

$$V_c = \frac{V_s}{\varepsilon - 1}, \text{мм}$$

де $V_s = [AB] = 220 \text{ мм}$ – приведений робочий об'єм

$$V_c = \frac{190}{10,5-1} = 20 \text{ мм}$$

Похибка середнього індикаторного тиску.

$$\Delta P_{mi} = \frac{|P_{mi} - P_{mi}^{\text{л}}|}{P_{mi_{cp}}} \times 100\%$$

$$P_{mi_{cp}} = \frac{P_{mi} + P_{mi}^{\text{л}}}{2}, \text{МПа}$$

$$P_{mi_{cp}} = \frac{0,936 + 0,975}{2} = 0,956 \text{ МПа}$$

$$\Delta P_{mi} = \frac{|1,936 - 0,975|}{0956} \times 100\% = 4,08\%$$

Похибка не перевищує 5%

					ПННІ НУК 142.41.25.03 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

Розрахунок дійсної індикаторної діаграми

Кут випередження.

$$\alpha' = 20^\circ$$

Кут затримки згоряння

$$\Delta\phi_1 = 0^\circ$$

α'' – точка тиску газів в ВМТ в кінці такту стиску.

$$P_{c''} = 1,2 \times P_c = 1,2 \times 4,433 = 5,319 \text{ МПа}$$

$$P_{c''} = 106,4 \text{ мм}$$

Максимальний тиск газів.

$$P_{zd} = 0,85 \times P_{\max} = 0,85 \times 10,919 = 9,28 \text{ МПа}$$

$$P_{zd} = 185,6 \text{ мм}$$

Кут після ВМТ де тиск максимальний

$$\Delta\phi_2 = 10^\circ$$

Точка відкриття випускного клапану

$$\alpha' = 130^\circ$$

Точка тиску газів в НМТ в кінці такту розширення – α'' , відкладається посередині лінії між точками α і d

Точка відкриття впускного клапану

$$\alpha' = 10^\circ$$

Точка закриття випускного клапану

$$\alpha'' = 30^\circ$$

Точка закриття впускного клапану

$$\alpha' = 150^\circ$$

Швидкість наростання тиску

$$\frac{\Delta P}{\Delta\phi_2} = \frac{P_{\max} - P_{c''}}{\Delta\phi_2}, \text{ МПа/град}$$

$$\frac{\Delta P}{\Delta\phi_2} = \frac{10,919 - 5,319}{10} = 0,56 \text{ МПа/град}$$

					ПІННІ НУК 142.41.25.03 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

Таблиця 2.2 Визначення точок дійсної індикаторної діаграми

Позначки точки φ° пкв	Положення точки відносно ВМТ, φ° пкв	Постійна $X = (1 - \cos \varphi) + \frac{\lambda_L}{4} \times (1 - \cos 2\varphi)$	Відстань від ВМТ до $X \times \frac{[AB]}{2}$, мм
С', до ВМТ	15	0,043	4,8
f, до ВМТ	5	0,005	0,5
$\Delta\varphi_2$, після ВМТ	10	0,019	2,1
e' , після ВМТ	130	1,724	189,7
r' , до ВМТ	10	0,019	2,1
r'' , після ВМТ	30	0,169	18,6
d' , до ВМТ	150	1,901	209,1

Побудова розгорнутої індикаторної діаграми

Радіус кривошипа

$$R = \frac{S}{2} = \frac{220}{2} = 110 \text{ мм}$$

Знаходимо поправку Брікса

$$OO' = \frac{R \times \lambda_L}{2}$$

$$OO' = \frac{110 \times 0,278}{2} = 15,3$$

Розраховуємо масштаб

$$M_s = \frac{S}{AB}$$

$$M_s = \frac{220}{220} = 1$$

Знаходимо поправку Брікса в масштабі переміщення

$$OO' = \frac{OO'}{M_s}, \text{ мм}$$

$$OO' = \frac{15,3}{1} = 15,3 \text{ мм}$$

2.4 Динамічний розрахунок двигуна

Маса деталей, що рухаються зворотно-поступально.

$$m_s = m_{\text{пк}} + \frac{1}{3} \times m_{\text{ш}}, \text{ кг}$$

де $m_{\text{пк}} = 14,65$ – маса поршневого комплекту, кг

$m_{\text{ш}} = 9,45$ – маса шатуна, кг

$$m_s = 14,65 + \frac{1}{3} \times 9,45 = 17,8 \text{ кг}$$

Маса деталей, що рухаються обертально.

$$m_R = \frac{2}{3} \times m_{\text{ш}}, \text{ кг}$$

$$m_R = \frac{2}{3} \times 9,45 = 6,3 \text{ кг}$$

Кутова швидкість

$$\omega = \frac{\pi \times n}{30}$$

$$\omega = \frac{3,14 \times 1000}{30} = 104,7 \text{ c}^{-1}$$

Сила тиску газу

$$F_r = P_{\text{ц}} \times \frac{\pi \times d^2}{4}, \text{ кН}$$

Сила інерції мас, що рухаються зворотно-поступально

$$F_i = -m_s \times r \times \omega^2 \times (\cos \varphi + \lambda_L \times \cos 2 \times \varphi), \text{ кН}$$

Дійсна сила

$$F_d = F_r \pm F_i, \text{ кН}$$

Нормальна сила

$$F_n = F_d \times \text{tg} \beta, \text{ кН}$$

Радіальна сила

$$F_r = F_d \times \frac{\cos(\varphi + \beta)}{\cos \beta}, \text{ кН}$$

					ПІННІ НУК 142.41.25.03 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Дотична сила

$$F_k = F_d \times \frac{\sin(\varphi + \beta)}{\cos \beta}, \text{ кН}$$

Сила інерції обертаючихся мас

$$F_{\text{іоб}} = -m_R \times r \times \varpi^2, \text{ кН}$$

$$F_{\text{іоб}} = -6,3 \times 0,110 \times 104,7^2 = -7,5 \text{ кН}$$

Дані розрахунків заносимо до таблиці 2.3 та будуємо графіки.

					ПННІ НУК 142.41.25.03 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

Таблиця 2.3 Результати динамічного розрахунку

φ ПКВ	Рц, мм	F _Г , кН	F _і , кН	F _д , кН	F _N , кН	F _r , кН	F _k , кН	F _Г ,мм	F _і ,мм	F _д ,мм	F _N ,мм	F _r ,мм	F _k ,мм	β
0	3,4	6,673	-60,34	-53,7	0	-53,67	0	4,5	-41,0	-36,5	0,0	-36,5	0,0	0,00
15	3,4	6,673	-57,08	-50,4	0	-47,84	0	4,5	-38,8	-34,2	0,0	-32,5	0,0	3,71
30	3,4	6,673	-47,84	-41,2	0	-33,06	0	4,5	-32,5	-28,0	0,0	-22,5	0,0	7,18
45	3,4	6,673	-34,13	-27,5	0	-15,93	0	4,5	-23,2	-18,7	0,0	-10,8	0,0	10,18
60	3,4	6,673	-18,1	-11,4	0	-3,52	0	4,5	-12,3	-7,8	0,0	-2,4	0,0	12,50
75	3,4	6,673	-2,043	4,63	0	0,0854	0	4,5	-1,4	3,1	0,0	0,1	0,0	13,97
90	3,4	6,673	12,068	18,74	0	-4,839	0	4,5	8,2	12,7	0,0	-3,3	0,0	14,48
105	3,4	6,673	22,945	29,62	0	-14,78	0	4,5	15,6	20,1	0,0	-10,0	0,0	13,97
120	3,4	6,673	30,17	36,84	0	-25,5	0	4,5	20,5	25,0	0,0	-17,3	0,0	12,50
135	3,4	6,673	34,134	40,81	0	-34,04	0	4,5	23,2	27,7	0,0	-23,1	0,0	10,18
150	3,4	6,673	35,771	42,44	0	-39,43	0	4,5	24,3	28,8	0,0	-26,8	0,0	7,18
165	3,4	6,673	36,176	42,85	0	-42,11	0	4,5	24,6	29,1	0,0	-28,6	0,0	3,71
180	3,4	6,673	36,204	42,88	0	-42,88	0	4,5	24,6	29,1	0,0	-29,1	0,0	0,00
195	3,4	6,673	36,176	42,85	0	-42,11	0	4,5	24,6	29,1	0,0	-28,6	0,0	-3,71
210	3,4	6,673	35,771	42,44	0	-39,43	0	4,5	24,3	28,8	0,0	-26,8	0,0	-7,18
225	3,4	6,673	34,134	40,81	0	-34,04	0	4,5	23,2	27,7	0,0	-23,1	0,0	-10,18
240	3,4	6,673	30,17	36,84	0	-25,5	0	4,5	20,5	25,0	0,0	-17,3	0,0	-12,50
255	3,4	6,673	22,945	29,62	0	-14,78	0	4,5	15,6	20,1	0,0	-10,0	0,0	-13,97

Продовження таблиці 2.3

φ ПКВ	R _ц , мм	F _Г , кН	F _і , кН	F _д , кН	F _N , кН	Fr, кН	F _k , кН	F _Г ,мм	F _і ,мм	F _д ,мм	F _N ,мм	Fr,мм	F _k ,мм	β
270	3,4	6,67	12,07	19	-4,84	-4,8	-18,74	4,53	8	12,7	-3,3	-3,3	-10,73	-14,48
285	8,9	17,47	-2,043	15,42	-3,84	0,2846	-15,89	11,9	-1,4	10,5	-2,6	0,2	-10,8	-13,97
300	12,9	25,32	-18,10	7,2	-1,6	2	-7,0	17,20	-12,3	4,9	-1,09	1,5	-4,79	-12,50
315	21	41,21	-34,13	7,079	-1,27	4,1064	-5,904	28,0	-23,2	4,8	-0,9	2,8	-4,0	-10,18
330	37,2	73,01	-47,84	25,17	-3,17	20,209	-15,33	49,6	-32,5	17,1	-2,2	13,7	-10,4	-7,18
345	66,7	130,9	-57,08	73,82	-4,79	70,065	-23,73	88,9	-38,8	50,2	-3,3	47,6	-16,1	-3,71
360	181	355,2	-60,34	294,9	-0	294,87	-7E-14	241,3	-41,0	200,3	0,0	200,3	0,0	0,00
375	164	321,9	-57,08	264,8	17,17	251,31	85,111	218,7	-38,8	179,9	11,7	170,7	57,8	3,71
390	92,2	180,9	-47,84	133,1	16,77	106,89	81,074	122,9	-32,5	90,4	11,4	72,6	55,1	7,18
405	52,4	102,8	-34,13	68,7	12,34	39,854	57,304	69,9	-23,2	46,7	8,4	27,1	38,9	10,18
420	32,3	63,39	-18,1	45,29	10,04	13,946	44,241	43,1	-12,3	30,8	6,8	9,5	30,1	12,50
435	22,2	43,57	-2,043	41,52	10,33	0,7662	42,784	29,6	-1,4	28,2	7,0	0,5	29,1	13,97
450	16,5	32,38	12,068	44,45	11,48	-11,48	44,449	22,0	8,2	30,2	7,8	-7,8	30,2	14,48
465	13,3	26,1	22,945	49,05	12,21	-24,48	44,216	17,7	15,6	33,3	8,3	-16,6	30,0	13,97
480	11,2	21,98	30,17	52,15	11,57	-36,09	39,381	14,9	20,5	35,4	7,9	-24,5	26,8	12,50
495	9,7	19,04	34,134	53,17	9,55	-44,35	30,844	12,9	23,2	36,1	6,5	-30,1	21,0	10,18
510	8,1	15,9	35,771	51,67	6,509	-48	20,196	10,8	24,3	35,1	4,4	-32,6	13,7	7,18
525	7,3	14,33	36,176	50,5	3,275	-49,63	9,908	9,7	24,6	34,3	2,2	-33,7	6,7	3,71

Продовження таблиці 2.3

φ ПКВ	R _ц , мм	F _Г , кН	F _i , кН	F _d , кН	F _N , кН	F _r , кН	F _k , кН	F _Г ,мм	F _i ,мм	F _d ,мм	F _N ,мм	F _r ,мм	F _k ,мм	β
540	6	11,78	36,204	47,98	0,00	-47,98	0,00	8,0	24,6	32,6	0,0	-32,6	0,0	0,00
555	4,3	8,439	36,176	44,62	-2,89	-43,84	-8,753	5,7	24,6	30,3	-2,0	-29,8	-5,9	-3,71
570	3,6	7,065	35,771	42,84	-5,4	-39,8	-16,7	4,8	24,3	29,1	-3,7	-27,0	-11,4	-7,18
585	3,4	6,673	34,134	40,81	-7,33	-34,04	-23,67	4,5	23,2	27,7	-5,0	-23,1	-16,1	-10,18
600	3,4	6,673	30,17	36,84	-8,17	-25,5	-27,82	4,5	20,5	25,0	-5,6	-17,3	-18,9	-12,50
615	3,4	6,673	22,945	29,62	-7,37	-14,78	-26,7	4,5	15,6	20,1	-5,0	-10,0	-18,1	-13,97
630	3,4	6,673	12,068	18,74	-4,84	-4,839	-18,74	4,5	8,2	12,7	-3,3	-3,3	-12,7	-14,48
645	3,4	6,673	-2,043	4,63	-1,15	0,0854	-4,77	4,5	-1,4	3,1	-0,8	0,1	-3,2	-13,97
660	3,4	6,673	-18,1	-11,4	2,535	-3,52	11,166	4,5	-12,3	-7,8	1,7	-2,4	7,6	-12,50
675	3,4	6,673	-34,13	-27,5	4,932	-15,93	22,906	4,5	-23,2	-18,7	3,4	-10,8	15,6	-10,18
690	3,4	6,673	-47,84	-41,2	5,187	-33,06	25,075	4,5	-32,5	-28,0	3,5	-22,5	17,0	-7,18
705	3,4	6,673	-57,08	-50,4	3,268	-47,84	16,203	4,5	-38,8	-34,2	2,2	-32,5	11,0	-3,71
720	3,3	6,476	-60,34	-53,9	7E-15	-53,86	3E-14	4,4	-41,0	-36,6	0,0	-36,6	0,0	0,00

					ПІННІ НУК 131.61.24.25 ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

					ПІННІ НУК 131.61.24.25 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

					ПІННІ НУК 131.61.24.25 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

					ПІННІ НУК 131.61.24.25 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. НАУКОВИЙ РОЗДІЛ

3.1 Опис та аналіз конструкцій поршнів

Поршень є однією з найбільш відповідальних і напружених деталей двигунів внутрішнього згоряння, як чотиритактних, так і особливо двотактних. Він сприймає навантаження від тиску газів, сил інерції, а також теплові навантаження, які виникають у результаті контакту днища з гарячими газами, головним чином у фазах згоряння та розширення.

Додатково корпус поршня нагрівається внаслідок тертя його бокової поверхні об стінку циліндра. Через це днище поршня піддається значному нагріванню, що може знижувати міцність матеріалу, погіршувати умови змащування, а в карбюраторних двигунах – сприяти детонації. Передача тепла від поршня до інших елементів двигуна здійснюється: через поршневі кільця та юбку – до стінок циліндра; через внутрішні поверхні днища і стінок – до картера і мастила; через поршковий палець – до шатуна.

У зв'язку з багатофункціональністю поршня, до матеріалів, з яких він виготовляється, висуваються високі вимоги щодо міцності, теплопровідності, зносостійкості, ливарних властивостей і стабільності розмірів при нагріванні.

Матеріали для виготовлення поршнів

1. Чавун і сталь

Чавун є традиційним і широко застосовуваним матеріалом для виготовлення поршнів. Зокрема, використовуються марки:

СЧ25, СЧ28, СЧ32 – для звичайних навантажень; ВЧ50-2 – високоміцний легований чавун для напружених вузлів.

Для підвищення механічних властивостей застосовують легування елементами: ванадій, титан, мідь, хром. Переваги чавуну та сталі: висока міцність та зносостійкість; низький коефіцієнт лінійного розширення, що забезпечує стабільність зазорів.

2. Легкі сплави (переважно алюмінієві)

					ПННІ НУК 131.61.24.25 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Найпоширеніші алюмінієві сплави: литі: АЛ1, АЛ10В, АЛ19, В300; деформовані: АК2, АК4, АК4-1, Д20. Найкращі властивості при температурах вище 300 °С мають сплави Д20.

Алюмінієві сплави (мідно- та кремнійалюмінієві) мають: високу теплопровідність (у 3–3,5 раза вищу, ніж у чавуну); меншу масу (на 30–50 % легші за чавунні поршні); низьку температуру поршня в роботі (250–350 °С проти 400–450 °С для чавуну); покращений коефіцієнт наповнення; зниження детонаційної схильності (важливо для бензинових двигунів); менше нагароутворення і тертя.

Однак, легкі сплави мають і недоліки: великі зазори в холодному двигуні викликають стукіт поршня, що підвищує зношування; гірші механічні характеристики порівняно з чавуном і сталлю; нижча теплостійкість; швидше зношування гнізд поршневого пальця та канавок для кілець; вища собівартість виготовлення.

Сучасні конструкції поршнів

У новітніх розробках широко застосовуються поршні складеної конструкції, у яких: головка поршня, що містить поршневі кільця, виготовляється з жаростійкого чавуну або сталі; основна частина корпусу виконується з легкого сплаву.

Це дозволяє поєднати високу жароміцність з низькою масою, що важливо при високонавантажених та швидкохідних режимах. Застосування сталевих поршнів поки що обмежене через їхню складність обробки та високу вартість, однак вони демонструють найкращі результати при високих температурах.

Якщо ви хочете, я можу підготувати: таблицю порівняння матеріалів для поршнів; графічну ілюстрацію конструкції поршня (у вигляді схеми); або математичний розрахунок маси поршня для конкретного типу двигуна.

3.2 Вибір конструкції проектного поршня

Конструктивна форма днища поршня

					ПННІ НУК 131.61.24.25 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Одним із найбільш частих дефектів поршнів слід вважати перегрів днища, який визиває відпуск матеріалів, погіршення механічних властивостей та втрату твердості. Періодична дія сил тиску газів разом з вказаним перегрівом визиває появу мілких тріщин, що призводять до руйнування днища. Температура поршнів залежить від параметрів процесу та конструкції двигуна. Значний вплив на температуру поршня мають конструкції гільз (втулок) та спосіб їх з'єднання з блоком циліндрів. Найбільш інтенсивного охолодження можна досягнути при мокрих гільзах. Значний вплив на розподіл температур в голівці поршня має також розташування передкамер та вихрових камер.

Велике значення для надійної роботи поршня має обрис днища. Форма днища визначається в першу формою камери згоряння, пов'язаною із способом сумішоутворення, розташуванням клапанів в кришці (головці), а в двотактних двигунах – і з системою газорозподілу.

На рисунку 3 показані найбільш розповсюджені форми днищ, що застосовуються в форсованих двигунах (дизелях). Плоскі днища застосовують в двигунах із запалюванням від стиску, головним чином в передкамерних та вихрокамерних (а також в двигунах із зовнішнім сумішоутворенням). Днище, виконане по схемі рис.4,а має підвищену жорсткість. Для даної конструкції характерна менша можливість утворення масляного нагару. Подібні днища застосовують в однокамерних та багатоканерних двигунах із запалюванням від стиску, а також у двигунах із зовнішнім сумішоутворенням. При такій конструкції днища можна в тій або іншій мірі придати необхідне направлення потоку повітря.

Днище, що виконане по схемі рис.4,б утворює сприятливу форму камери згоряння, що наближається до шарової, при безпосередньому впорскуванні. Ці

днища застосовують головним чином в чотиритактних двигунах як із внутрішнім, так із зовнішнім сумішоутворенням та в деяких конструкціях двохтактних двигунів.

Днище поршня, що показане на рис.4,в, утворює камеру згоряння, близької по формі до факелу розпилюваного палива. Такі днища застосовують при

					ПННІ НУК 131.61.24.25 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

безпосередньому впорскуванні в двигунах із запалюванням від стиску як в чотиритактних, так і в двотактних при прямоточній продувці. В такій конструкції розпилене паливо не попадає на стінки циліндру, що покращує його витрату та попереджує попаданню його в мастило.

Днище, що показане на рис.4,г сприяє поліпшенню сумішоутворення. Однак при такій формі необхідні спеціальні конструктивні заходи для підвищення надійності днища. Цю конструкцію застосовують в основному в чотиритактних двигунах із запалюванням від стиску з безпосереднім впорскуванням.

Днище, що виконане по схемі рис.4,д відрізняється формою, що сприяє покращенню сумішоутворення. Інколи камери згоряння, що розташовані в поршні, зміщують в сторону для забезпечення тангенціального напрямку повітря, яке збільшує швидкість вихру. Але при цьому маємо нерівномірний розподіл температур в голівці поршня.

Днище, показане на рис.4,е, завдяки більш простій формі відрізняється підвищеною надійністю, ніж днища показані на рис.3,г,д. Таку конструкцію застосовують головним чином в чотиритактних двигунах із запалюванням від стиску.

					ПННІ НУК 131.61.24.25 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

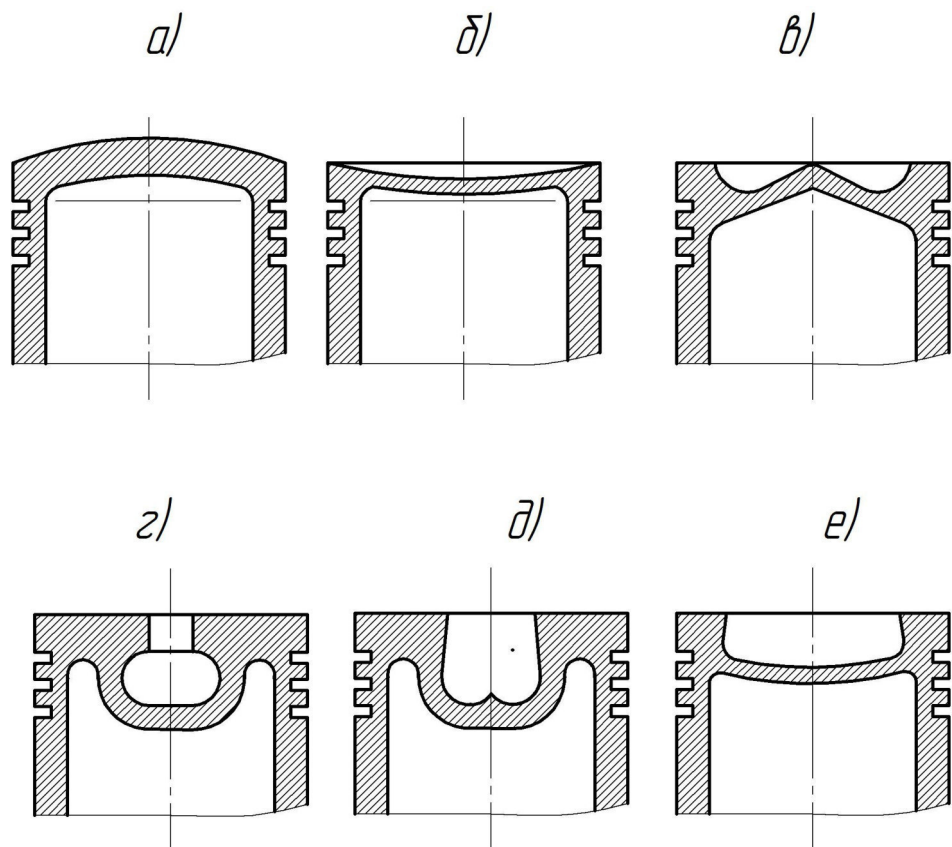


Рисунок 4.1 Форми днищ поршня

3.2.2 Форма поршня

Форма корпусу поршня та його основні розміри визначаються в першу чергу умовами відведення тепла, що надходить від камери згоряння. Поршні виконують монолітними та складеної конструкції. Одні та другі можуть бути без охолодження та з охолодженням.

При конструюванні поршня необхідно прагнути до того, щоб він мав просту циліндричну, по можливості симетричну форму відносно вісі циліндру. Перехід від днища до стінок необхідно виконувати з великими радіусами закруглення для забезпечення рівномірної теплової загрузки в розрізах головки поршня. В напружених конструкціях бобишки зв'язують з днищем поздовжніми та поперечними ребрами. В легких двигунах великої потужності часто бобишки з'єднують безпосередньо з днищем, що полегшує штамповку внутрішньої поверхні поршнів.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Для зменшення температурних напружень раціонально застосовувати днища без ребер. Ребра ускладнюють виготовлення поршня та можуть служити причиною появи внутрішніх напружень в матеріалі.

Компресійні кільця застосовують в кількості від 2 до 6, в залежності від швидкохідності, а також від величини максимального тиску згоряння. Компресійні кільця не слід розміщувати близько до днища, так як внаслідок цього збільшується їх теплова напруженість, а особливо першого кільця, але віддалення кілець від днища приводить до збільшення загальної довжини бокової поверхні та висоти поршня. Це особливо необхідно враховувати при проектуванні легких малогабаритних двигунів, так як віддалення пальця від днища обумовлює збільшення габаритних розмірів двигуна в напрямку вісі циліндру.

Для двигунів тихохідних та середньої швидкохідності, коли технічними вимогами не передбачується особливо малі габаритні розміри двигунів, довжину поршня визначають, в основному враховуючи величину допустимого бокового тиску.

Для швидкохідних малогабаритних чотиритактних двигунів (з малим ресурсом) в першу чергу враховують можливість розміщення основних елементів конструкції: компресійних кілець, перемичок поміж ними, поршневого пальця з бобиками та маслоз'ємних кілець.

Практично пояс, що несе поршневі кільця, не приймає участі в передачі бокових сил: поверхня перерізна канавками. Наявність канавок не дозволяє також створити стійку масляну плівку. Величину зазору поміж цією частиною поршня та стінками циліндру вибирають із умови захисту поршневих кілець від дії гарячих газів, з однієї сторони, та з умови попередження попадання масла в камеру згоряння – з другої сторони. При цьому враховують температурні деформації корпусу поршня та стінок втулки циліндру. Зазор поміж юбкою поршня та стінками циліндру при роботі вибирають із розрахунку вільного переміщення поршня та його можливості встановлюватися (в деяких межах) під дією сил, що розвиваються в масляному шарі поміж поршнем та циліндром. Для

					ПННІ НУК 131.61.24.25 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зменшення тертя бажано збільшувати зазор, але це приводить до зростання витрати масла, стуку та зношуванню поршня внаслідок поперечного переміщення поршня в мертвих точках.

Зазор поміж поясом поршня, який несе поршневі кільця, та стінками циліндру виконують дещо більшим, ніж в направляючій частині.

Профілі бокової поверхні корпусу поршня, що показані на рис.4, а-г, виконують у вигляді циліндричних або конічних ступенів. В деяких випадках, особливо в останні роки, бокову поверхню поршня на висоті бобишок або дещо ближче до нижнього торця корпусу виконують бочкоподібною. При зміні робочої сторони поршня частина бокової поверхні вступає в контакт з циліндром, і тому дещо поліпшуються умови роботи бічної поверхні поршня, а також змащування юбки під час робочого ходу поршня.

Середні значення зазорів поміж корпусом поршня та стінкою циліндру:

Для чавунних та сталевих поршнів

- зазор в стороні, що звернена до камери згоряння

$$\Delta D' = (0,004 \dots 0,008)D$$

- зазор в стороні, що звернена до колінчастого валу

$$\Delta D'' = (0,0008 \dots 0,0013)D$$

Для поршнів із алюмінієвого сплаву

- зазор в стороні, що звернена до камери згоряння

$$\Delta D' = (0,008 \dots 0,013)D$$

- зазор в стороні, що звернена до колінчастого валу

$$\Delta D'' = (0,001 \dots 0,003)D$$

В двигунах з повітряним охолодженням, що працюють при більш високих температурах, зазори поміж поршнями та циліндрами (в холодному стані) мають бути більшими, ніж зазори у двигунів з водяним охолодженням.

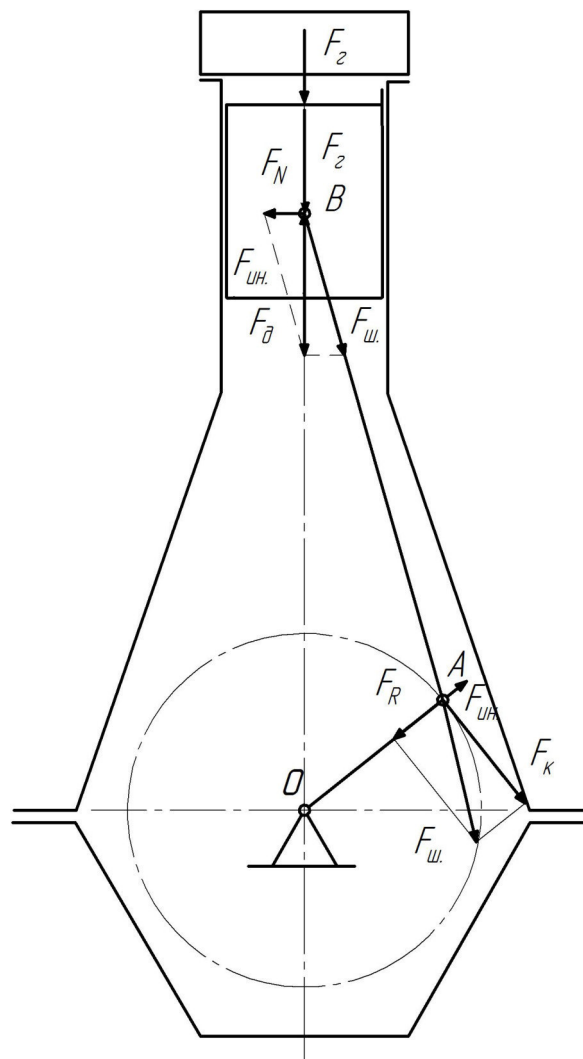
Вибір зовнішнього обрису направляючої частини корпусу залежить від деформації середньої частини поршня (в зоні розташування поршневого пальця).

В результаті дії температурних деформацій, сили тиску газів на днище поршня та

					ПННІ НУК 131.61.24.25 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

поперечної сили на бокову поверхню поршня розріз корпусу приймає овальну форму. Внаслідок того, що значна частина матеріалу розташована в напрямку вісі поршневого пальця, при нагріванні матеріал деформується нерівномірно, тому корпус в районі бобишок приймає форму овалу із збільшенням розміру вздовж вісі пальця (рис.4.2). В тому ж напрямку деформацію визиває і дія сили F_N (рис. 4.2). В результаті цього поміж циліндром та частиною поршня, розташованою біля пальця, може виникнути натяг, що приведе до заїдання поршня.

Вказані вище деформації враховують при виготовленні поршня: інколи корпусу поршня надають попередньо при механічній обробці овальну форму з більшою віссю овалу, що перпендикулярна до вісі поршневого пальця, або ж видаляють частину матеріалу із зовнішньої сторони корпусу біля поршневого пальця.



Стінки юбки виконують постійної по довжині товщини або дещо зменшеною в напрямку від поршневого пальця до колінчастого валу. Нерідко стінку юбки виконують з потовщенням у кромки, яке попереджає стінку від можливих при складанні та розбиранні деформацій. Це потовщення використовують також для розташування маслосборних кілець; крім того, потовщення служить для підгонки поршнів по масі і при їх обробці – як база для кріплення.

Часто для усунення стуку та перекосу поршня в непрогрітому двигуні та попередження заїдань при роботі поршня із легких сплавів їх виконують розрізними та еліптичними юбками. Розріз може бути виконаним по всій довжині юбки.

В цьому випадку пружна тонкостінна юбка деформується незалежно від деформації головки поршня, і зазор поміж корпусом поршня і стінкою циліндра може бути встановлений малим. Звичайно для збільшення міцності розріз роблять не по всій довжині; його виконують П- подібної або Т – подібної форми. В циліндрі поршень встановлюють так, щоб розріз був на тій стороні, де бокова сила менша. Подібні поршні виконують звичайно з юбкою еліптичної форми з малою віссю еліпса, яка направлена по вісі поршневого пальця. Різниця між вісями еліпса для поршнів автомобільних двигунів складає 0,1...0,3 мм. При холодному поршні забезпечується ходова посадка по розмірам більшої вісі еліпса. При роботі поршень деформується та приймає практично правильну циліндричну форму.

Опис конструкції спроектованого поршня

Спроектований поршень складається з двох частин тронка та головки поршня. Матеріал для спроектованого поршня повинен мати: високу зносостійкість, жаростійкість та малий коефіцієнт лінійного розширення, так як температура згорання в спроектованому двигуні вища тому, для головки поршня вибираємо сплав 20ХЗМВФ (ЭИ415), а тронк поршня виготовлений з алюмінієвого Сплав АК8л ГОСТ 1583-93 та вкрита антипригарним шаром.

Антипригарний шар.

					ПННІ НУК 131.61.24.25 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Завдяки розвитку сучасних технологій забезпечити надійний захист поршнів двигуна можливо шляхом застосування спеціальних покриттів, що виконують захисні, ізолюючі та антифрикційні функції. Поршні, оброблені такими покриттями, демонструють покращені експлуатаційні характеристики, зокрема:

зменшення зносу; зниження теплових навантажень; підвищення стійкості до детонаційних процесів; покращення змащування.

Існує два основні класи покриттів, які використовуються для поршнів:

1. Молекулярні тверді покриття

Ці покриття формують тверду, міцну поверхню, яка:

обре відбиває тепло; має високу твердість; знижує контактне тертя.

2. Керамічні покриття

Кераміка вирізняється високими теплоізоляційними властивостями. Вона здатна:

ефективно поглинати і утримувати тепло; захищати головку поршня від перегріву; зменшувати ймовірність детонації.

Поршні з керамічними покриттями мають підвищену теплову стабільність, особливо актуальну для форсованих та спортивних двигунів.

3. Високотемпературні покриття

До переваг поршнів, оброблених високотемпературними покриттями, належать:

зменшена чутливість до детонаційних навантажень; підвищена надійність при тривалому впливі високих температур; довговічність роботи в екстремальних умовах.

4. Полімерні та тефлонові покриття

Полімерні та тефлонові покриття не придатні для поршнів двигунів внутрішнього згоряння через низьку термостійкість. Вони не витримують робочих температур, характерних для поршневої групи (понад 200 °C).

Сучасні антифрикційні покриття: приклад MODENGY

					ПННІ НУК 131.61.24.25 ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Одним із сучасних рішень для захисту поршнів є антифрикційне покриття MODENGY для деталей ДВЗ. Це тверде сухе мастило, яке:

полімеризується при кімнатній температурі; утворює довготривалу захисно-мастильну плівку; знижує знос спідниць поршнів та стінок циліндра; зменшує втрати на тертя.

Експлуатаційні характеристики покриття MODENGY:

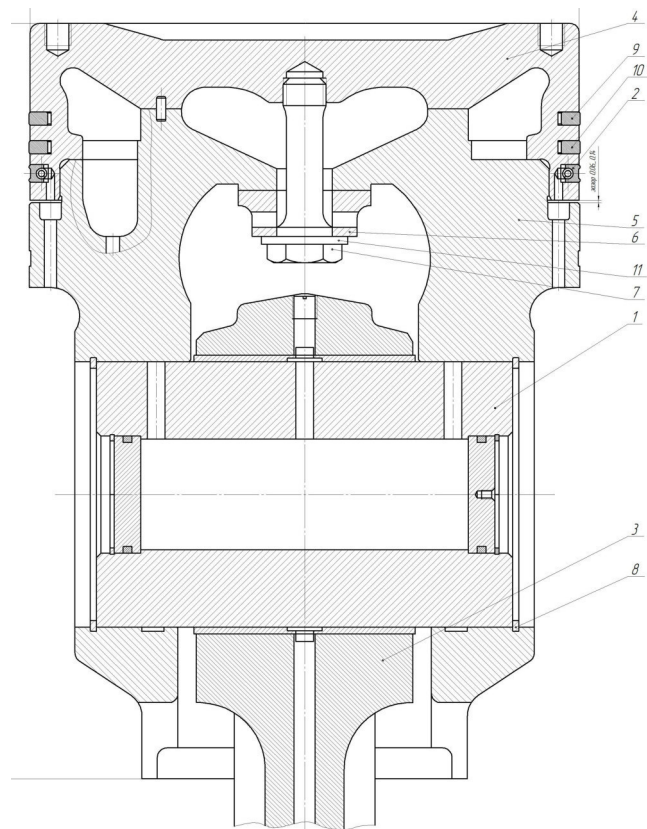
Температурний діапазон роботи: від -70°C до $+260^{\circ}\text{C}$; Висока адгезія до металевих поверхонь; стійкість до мастил, масел і розчинників; Ефективне зниження тертя навіть при недостатньому змащенні.

Покриття MODENGY ефективне як для бензинових, так і для дизельних двигунів, незалежно від типу транспортного засобу. Проте при виборі покриття доцільно враховувати рекомендації виробника двигуна, а також умови експлуатації.

- Висока несуча здатність
- Протизадирні властивості
- Здатність запобігати стрибкоподібному руху
- Властивості аварійного мастила
- Тривалий термін служби

Спроектований поршень такої конструкції дасть змогу збільшити кількість обертів за рахунок зменшення маси поршневої групи порівнянні з поршнем базового двигуна який виготовлений з чавуну. Також зменшити витрати потужності двигуна на механічні втрати шляхом зменшення поршневих кілець, 2 компресійних і одного маслоз'ємного які встановлені в головці поршня. Ще однією особливістю спроектованого поршня є: дві проточки вздовж юбки поршня для зменшення можливості задирю юбки поршня. Для оптимізації процесу згорання форму днища поршня вибираємо коритоподібної форми яка розташована в центрі днища і має мінімальну площу де концентрується більша частина газоповітряної суміші це дасть змогу зменшити теплові втрати та зменшити появу детонації.

					ПННІ НУК 131.61.24.25 ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



					ПННІ НУК 131.61.24.25 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

					ПІННІ НУК 131.61.24.25 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

					ПІННІ НУК 131.61.24.25 ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

					ПІННІ НУК 131.61.24.25 ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

4.1 Охорона праці та техніка безпеки при роботі в машинному відділенні
інструкція з охорони праці для осіб, що здійснюють підготовку та експлуатацію
дизелів.

1. Загальні положення

До роботи на ділянці з підготовки до експлуатації та експлуатації дизелів
допускаються особи: які досягли 18-річного віку; пройшли медичний огляд;
пройшли вступний, первинний та періодичні інструктажі з охорони праці;
вивчили пристрій і принцип роботи дизеля та дизель-генераторів; склали іспит
перед кваліфікаційною комісією; навчені та атестовані з питань охорони праці
відповідно до чинного законодавства.

2. Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ)

Під час роботи працівник зобов'язаний користуватись виданим спеціальним
одягом згідно з нормативами: Найменування ЗІЗ

Термін використання

Рукавиці х/б 1 місяць

Костюм х/б 12 місяців

Навушники (беруші) До зносу

Черевики шкіряні 12 місяців

3. Вимоги безпеки під час роботи

Працівник зобов'язаний: дотримуватись внутрішнього трудового розпорядку;
дотримуватись правил пожежної безпеки; в'їхати лише у спеціально відведених
місцях; дотримуватись правил особистої гігієни, зокрема:

не зберігати та не вживати їжу на робочому місці; мити руки перед прийомом їжі;
не використовувати для миття рук бензин, гас, розчинники тощо.

4. Небезпечні та шкідливі виробничі фактори

Основні шкідливі чинники при роботі з дизелями:
оксид вуглецю (чадний газ); мінеральні масла; сірчистий ангідрид; виробничий
шум.

					ПННІ НУК 131.61.24.25 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

5. Санітарні вимоги

Під час роботи працівник зобов'язаний:

збирати відходи виробництва у спеціальні ємності; використовувати вентиляційні системи (витяжну та припливну); користуватись засобами індивідуального захисту при роботі з небезпечними речовинами; у разі роботи з новими або невідомими матеріалами — вимагати інструкцію з їх використання.

6. Загальні обов'язки працівника

Працівник зобов'язаний:

піклуватися про власну безпеку і здоров'я, а також про безпеку інших осіб, які перебувають поруч під час виконання робіт або перебування на території електростанції; знати і виконувати вимоги нормативно-правових актів з охорони праці; дотримуватись правил поведінки з машинами, механізмами, устаткуванням; користуватись засобами колективного та індивідуального захисту; проходити в установленому порядку попередні та періодичні медичні огляди; виконувати вимоги інструкцій з охорони праці, які є обов'язковими для всіх працівників.

Порушення вимог цієї інструкції розглядається як порушення виробничої дисципліни та тягне за собою відповідальність відповідно до чинного законодавства України.

Вимоги безпеки перед початком роботи

- Привести в порядок робочий одяг: застібнути обшлаг рукавів, прибрати волосся під головний убір.
 - Організувати своє робоче місце так, щоб все необхідне було під рукою. Якщо підлога мокра і слизька – посипати тирсою;
 - Перевірити чи достатньо освітлено ваше робоче місце;
 - Працювати з інструментом, що відповідає наступним вимогам,:
- гайкові ключі повинні бути справні і відповідати розмірам болтів і гайок; не нарощувати ключі іншими предметами;

					ПННІ НУК 131.61.24.25 ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

користуватися пристосуваннями, передбаченими техпроцесами

- Оглянути наявність і справність захисних кожухів.

Основні вимоги перед пуском дизеля

- Перед пуском дизеля провертання колінчастого валу уручну здійснювати тільки з відкритими декомпрессионними клапанами і при закритому балоні стислого повітря, не менше двох оборотів, після чого зняти валоповоротний пристрій для провертання маховика;

- Перевірити чи не знаходиться дизель-генератор при пуску під навантаженням;

Вимоги безпеки під час роботи

- При проведенні ревізії на дизелі у всіх місцях, пов'язаних з подачею стислого повітря, палива вивісити попереджувальні таблички застережливі про те, що пуск дизель-генератора забороняється.

- На дизелі і майданчиках по обслуговуванню не дозволяється залишати деталі, інструмент і пристосування після закінчення або в перервах в роботі.

- Пролите масло або паливо повинні бути негайно прибрані.

- Не торкатися без теплозахисних засобів до незахищених деталей, що мають температуру більш 70°C;

- Не запускати дизель без захисного кожуха на маховику;

- Під час роботи дизеля не обтирати рухомі частини дизеля, не усувати дефекти;

- Не підтягати болти, гайки з'єднань, що знаходяться під тиском на працюючому дизелі;

- Пуск дизеля після ревізії проводити після огляду на наявність сторонніх предметів на дизелі;

- Перевірити кріплення і шплинтовку всіх деталей дизеля, особливу увагу звернути на шплинтовку шатунових болтів і шпильок рамових підшипників;

- Не працювати з електроосвітлювальними приладами, що мають напругу більше 12 В;

					ПННІ НУК 131.61.24.25 ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Не проводити роботи (технологічні операції) при піднятті деталей і вузлів краном, від'єднувати строп від вузла якщо вузол не закріплений;
- Не знаходитися в небезпечній зоні при переміщенні вантажу;
- При виявленні несправностей устаткування, інструменту, ЗІЗ негайно припинити роботу, повідомляти адміністрації електростанції і далі діяти відповідно до вказівок;
- Про кожний нещасний випадок що відбувся на виробництві або раптовому захворюванні негайно повідомити безпосереднього керівника робіт і прийняти заходи по наданню першої долікарської допомоги постраждалому.

Вимоги безпеки після закінчення робіт

- Закрити замочні вентиля палива, води зовнішнього контуру, пускового повітря, відключити переносний електроінструмент, відпрацьоване масло злити в спеціальну ємність;
- Привести в порядок робоче місце, інструмент і пристосування;
- Зняти робочий одяг і прибрати його в шафу;
- Вмиватися або прийняти душ;
- Про всі недоліки, виявлених в процесі роботи негайно повідомляти адміністрації електростанції.

Вимоги безпеки в аварійній ситуації

Можливою причиною аварії може бути:

- дизель йде розносячи - підвищення частоти обертання вище 570 хв^{-1} , підвищення температури води вище 90°C , падіння тиску масла нижче $1,6 \text{ кг/см}^2$;
- розривання паливопроводу і попадання палива на оголені деталі вихлопного колектора (спалах палива), при виникненні пожежі дзвонити в пожежну частину і прийняти заходи по ліквідації спалаху;
- при появі стороннього шуму в дизелі негайно зупинити двигун, перекрити подачу палива або відключити рукояткою граничного вимикача, повідомити майстра і далі діяти по його вказівках;

					ПННІ НУК 131.61.24.25 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У разі попадання людини під напругу необхідно звільнити його від дії електричного струму, шляхом відключення від джерела живлення, а при неможливості відключення - відтягнути його від токоведущих частин за одяг або застосувати підручний ізоляційний матеріал. При потраплянні робочого під дію електричного струму необхідно вивільнити його від струму, після чого, необхідно викликати лікаря і надати постраждалому долікарську допомогу.

При опіках слід робити холодні примочки з розчином борної кислоти.

При пораненні, порізах, обробити шкіру навколо рани йодом, накласти стерильну пов'язку.

При виникненні аварійної ситуації необхідно припинити роботу і:

- видалити з аварійної зони людей
- прийняти заходи по зупинці устаткування і інші заходи, що виключають небезпеку для людей, повідомити адміністрації електростанції.

4.2 Захист навколишнього середовища

Шкідливі речовини, що виділяються при згорянні палива у двигуні можна розділити на три основні групи:

а) продукти повного (біоксиду вуглецю CO_2) т неповного згоряння (оксид вуглецю CO , неспалені вуглеводні C_nH_m , в тому числі поліциклічні ароматичні, сажа або тверді частинки);

б) оксиди азоту NO_x , механізм створення яких безпосередньо не пов'язаний (або пов'язаний дуже мало) з процесом згоряння палива; викиди NO_x , що обумовлені, головним чином, реакціями окислення атмосферного азоту киснем при високих температурах;

в) речовини, викиди яких пов'язані, головним чином, із вмістом у паливі сірки, сполук свинцю, золи.

Вплив оксиду вуглецю на організм людини

Основна небезпека оксиду вуглецю (CO) полягає у порушенні газообміну в організмі. У легенях гемоглобін крові з'єднується з CO у 240 разів швидше, ніж із киснем, утворюючи карбоксигемоглобін (COHb). Це блокує здатність

					ПННІ НУК 131.61.24.25 ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

крові переносити кисень до органів і виводити вуглекислий газ, що призводить до кисневого голодування.

Вплив залежить від концентрації CO та тривалості дії: 0,01 % CO в повітрі (тривалість більше 1 години) — викликає: головний біль; погіршення реакції; зниження працездатності. Вищі концентрації можуть призводити до: втрати свідомості; порушення серцево-судинної діяльності; інфаркту міокарда; ураження центральної нервової системи; розвитку легеневих захворювань. Найбільш чутливі до дії CO — люди з коронарною недостатністю.

Небезпечні рівні: 0,001–0,0015 % CO (10–15 ppm) протягом 8 годин у окремих людей викликає погіршення здатності до орієнтації в часі. Високі концентрації CO можуть призводити до раптової втрати свідомості та смерті. Утворення карбоксигемоглобіну є процесом зворотним: після припинення вдихання CO, його рівень у крові знижується вдвічі кожні 3–4 години. Вплив CO на рослинний світ Дослідження показали, що: при концентрації CO нижче 0,01 % — впливу на рослини не виявлено, навіть при тривалому перебуванні (до 3 тижнів); окремі дослідження зафіксували погіршення утворення пилку при таких умовах.

Канцерогени серед вуглеводнів.

Особливу небезпеку становлять канцерогени — речовини, що викликають онкологічні захворювання. Найнебезпечніший канцероген — бенз(а)пірен ($C_{20}H_{12}$): має вигляд жовтих кристалів; добре розчиняється у жирах, оліях, сироватці крові; при контакті з тканинами викликає злоякісні пухлини; накопичується в організмі, і при досягненні критичної концентрації — провокує розвиток ракових захворювань. Основними альдегідами, що надходять у атмосферу з відпрацьованими газами, є формальдегід і акролеїн.

Формальдегід (муашковий альдегід) — газ без кольору із задушливим, подразнюючим запахом. Охолоджуючись, перетворюється в рідину за температури мінус 21°C. Легко розчиняється у воді. Розчин, який містить 40 % формальдегіду, називається формаліном.

					ПННІ НУК 131.61.24.25 ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Газ шкідливо впливає на органи дихання і слизові оболонки, є дуже сильним подразником, вражає діяльність центральної нервової системи, печінки, нирок. За концентрації формальдегіду у атмосфері 0,007 % має місце легке подразнення дихальних шляхів та слизових оболонок очей і носа, за концентрації 0,18 % - подразнення сильне. Запах сприймається людиною за концентрації 0,000015 %, і це має бути сигналом, що перебування в такій атмосфері небезпечне.

Основна частина оксидів азоту, які знаходяться в атмосфері, надходить з відпрацьованими газами.

Оксиди азоту NO і NO₂ отруйні для організму людини, мають сильну подразнюючу дію, особливо на слизові оболонки, зокрема очей. Здатні глибоко проникати в легено, викликаючи пошкодження їх тканин. За високої концентрації можливі виникнення хронічних респіраторних захворювань.

Двооксид азоту в концентрації 4-6 мг/м викликає порушення життєдіяльності рослин, пригнічуючи їх зростання. Тривалий вплив NO₂ призводить до хлорозу рослин (передчасного старіння).

Двооксид азоту є вихідним продуктом утворення озону під впливом ультрафіолетового випромінювання. А надмірне накопичення озону у приземному просторі дуже шкідливе. Крім того, NO₂ має вирішальну роль в утворенні фотооксидантів. Розчин NO₂ у воді є складовою "кислотних дощів".

Сірчистий газ SO₂ – основний токсичний продукт сполук сірки, що надходить у атмосферу з відпрацьованими газами. У вільному стані SO – це газ без кольору з різким запахом, кислий на смак, отруйний, подразнює слизові оболонки очей і дихальних шляхів. Легко розчиняється у воді, утворюючи сірчисту кислоту H₂SO₃

Висока концентрація SO₂ в атмосфері викликає гострий бронхіт, задуху, можливу смерть внаслідок рефлексного спазму горла.

Сполуки сірки SO₂, SO₃, H₂SO₃ і H₂SO₄ наносять значний збиток лісовому і сільському господарствам – вони закислюють ґрунт, підвищують вразливість

					ПННІ НУК 131.61.24.25 ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

рослин захворюваннями. Окрім того, ці речовини є основними складовими класичного смогу і складовою "кислотних дощів".

Сполуки сірки наносять значних збитків комунальному господарству міст, руйнуючи металеві конструкції, бетон, піддають руйнації пам'ятки архтектури.

					ПІННІ НУК 131.61.24.25 ПЗ	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

Кваліфікаційна робота бакалавра на тему: „Удосконалення конструкції поршневої групи з метою покращення ресурсних показників газового двигуна потужністю 230 кВт. Прототип – 6ГЧН18/22”. В загальному розділі було описано технічну інформацію про об’єкт використання двигуна в якості стаціонарного двигуна електростанції, опис конструкції двигуна прототипу.

Газовий двигун 6ГЧН18/22 потужністю 230 кВт при частоті обертання 1000 хв^{-1} використовується для приводу електрогенератора змінного струму і встановлюється у місцях постійного споживання електричної та теплової енергії. Детальна конструкція двигуна наведена в Додатку 1 графічної частини роботи.

У Конструкторському розділі за заданими вихідними параметрами двигуна ($P = 230 \text{ кВт}$, $n = 1000 \text{ хв}^{-1}$), визначено двигун-прототип 6ГЧН18/22, а також виконано розрахунки параметрів робочого циклу. На основі результатів побудовано: індикаторну діаграму дійсного робочого циклу; діаграми сил, що діють на деталі кривошипно-шатунного механізму. Ці діаграми наведено у Додатку 6 графічної частини.

У науковому розділі був проведений опис конструкції поршня. Особливу увагу приділено розробці поршня, виготовленого з алюмінієвого сплаву. У пояснювальній записці подано: детальний опис поршня двигуна-прототипу; розрахунок міцності; креслення: складальне креслення поршня – у Додатку 3; робочі креслення – у Додатках 4 і 5.

У четвертому розділі були розроблені заходи з охорони праці та довкілля.

Оскільки газовий двигун 6ГЧН18/22 є джерелом шуму та вібрацій, у роботі розроблено заходи зі зменшення негативного впливу його експлуатації на: обслуговуючий персонал; навколишнє середовище.

					ПННІ НУК 131.61.24.25 ПЗ	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ

1. Тимченко І.І. та інші Автомобільні двигуни. Підручник. – 3-тє видання К.: Арістей, 2007.-476с.
2. Суднові двигуни внутрішнього згоряння: Підручник /В.С.Наливайко, Б.Г.Тимошевський, С.Г.Ткаченко. – Миколаїв: 2015. -332с.
3. Дьяченко В.Г. Основи теорії робочих процесів в двигунах внутрішнього згоряння. - Київ: УМК ВО, 1988. - 95 с.
4. Марченко А.П., Парсаданов І.В., ТОВАЖНЯНСЬКИЙ Л.Л., ШЕХОВЦОВ А.Ф. Двигуни внутрішнього згоряння. Т.5 „Екологізація ДВЗ”. – Харків: „Прапор”, 2004.
5. Використання рослинної олії в якості палив в середньо оборотному дизельному двигуні. Швець І., Грабовенко О., Доценко С., Нестеренко В. Двигуни внутрішнього згоряння. – 2021. № 2. С.79–86.
6. Горбов В.М. Енергетичні палива: Навчальний посібник. – Миколаїв: УДМТУ, 2003.-328с.
7. Ю.Ф. Гутаревич, Д.В. Зеркалов, А.Г. Говорун, А.О. Копач, Л.П. Мержиєвська. Екологія автомобільного транспорту: Навчальний посібник - К.: Основа, 2002.- 312с.

Додаткова література

1. Лабораторний практикум. Методичні вказівки щодо виконання лабораторних робіт з дисципліни „Теорія ДВЗ”. Коваленко І.М., Доценко С.М. Малютін П.В. Первомайськ ППІ, 2007.
2. Методичні вказівки до виконання розрахунку робочого процесу, теплового балансу, теоретичної та дійсної індикаторної діаграми газодизельного двигуна з дисципліни «Теорія ДВЗ». // Доценко С.М., Бельський Ф.В.- Первомайськ ППІ НУК, 2013. – 52с.
3. Методичні вказівки до виконання розрахунку робочого процесу, теплового балансу, теоретичної та дійсної індикаторної діаграми бензинового двигуна з дисципліни «Теорія ДВЗ». // Доценко С.М., Бельський Ф.В.- Первомайськ ППІ НУК, 2013. – 52с.
4. Методичні вказівки до виконання розрахунку робочого процесу дизельного двигуна на альтернативних видах рідкого палива з дисципліни «Теорія двигунів внутрішнього згоряння». // Доценко С.М.– Первомайськ: ПФ НУК, 2021 - 50 с.
5. Методичні вказівки до виконання розрахунку робочого процесу, теплового балансу, теоретичної та дійсної індикаторної діаграми газового двигуна з дисципліни «Теорія ДВЗ». // Доценко С.М., Бельський Ф.В., Гірікович В.С.- Первомайськ ППІ НУК, 2010. – 36с.
6. Методичні вказівки до виконання розрахунку робочого процесу дизельного двигуна з дисципліни «Теорія ДВЗ» // Доценко С.М., Діденко О.В - Первомайськ ППІ НУК, 2012. – 40с.
7. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни „ Теорія двигунів внутрішнього згоряння” Доценко С.М. – Первомайськ ППІ НУК, 2014.

					ПННІ НУК 131.61.24.25 ПЗ	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		