

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

Кафедра «Енергетичне машинобудування»

«Допущений до захисту»
Завідувач кафедри

_____ 2023 р.
« ____ » _____

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»

на тему: Покращення показників 4-тактного двигуна потужністю 600 кВт для стаціонарної електростанції при заміні виду палива (біогаз) з розробкою конструкції поршню. Прототип 6ГЧН 25/34.

Виконав:
студент групи 61-ТЕМмаг-22з
_____ ***Гірда І.І.***
(підпис)

Керівник роботи:
доцент кафедри ЕМ, к.т.н., доцент
(посада, науковий ступень, вчене звання)
_____ ***Нестеренко В.В.***
(підпис)

Первомайськ - 2023 р.

Анотація

Розроблена відповідно до завдання «Покращення показників 4-тактного двигуна потужністю 600 кВт для стаціонарної електростанції при заміні виду палива (біогаз) з розробкою конструкції поршня. Прототип 6ГЧН 25/34» кваліфікаційна робота містить в собі необхідні конструкторські креслення, розрахункові і пояснювальні матеріали по газовому двигуну 6ГЧН 25/34 і детальну розробку конструкції поршневої групи. Кваліфікаційна робота оформлена текстовим документом у вигляді пояснювальної записки та графічної конструкторської частини проекту загальною кількістю 6 листів формату А1.

У другому розділі кваліфікаційної роботи по заданим вихідним параметрам проектованого двигуна ($P_e=600$ кВт) визначений двигун – прототип 6ГЧН25/34 ($P_e=530$ кВт при $n=600$ хв-1) і виконані розрахунки робочого циклу. Результати розрахунків показали, що задану потужність газового двигуна можна отримати при тиску газоповітряної суміші у впускному колекторі двигуна $p_k = 0,19$ МПа, ступеню стиску $\varepsilon = 10,5$, коефіцієнті надлишку повітря $\alpha = 1,75$.

По результатам розрахунків робочого процесу побудовані індикаторна діаграма дійсного робочого циклу та діаграми сил, що діють на деталі КШМ, величини яких знайдені в динамічному розрахунку двигуна.

В пояснювальній записці приведений детальний опис запроектованої поршневої групи та виконане обґрунтування запропонованої конструкції поршня та поршневих компресійних кілець. Розроблена конструкція поршня з підвищеною жорсткістю тронка та компресійного кільця з підвищеною герметичністю та покращеною зносостійкістю.

В технологічному розділі кваліфікаційної роботи розроблено технологічний процес складання шатунно - поршневої групи.

В кваліфікаційній роботі відведено на розробку заходів по зменшенню негативного впливу його роботи на обслуговуючий персонал і на навколишнє середовище.

Abstracts.

Developed in accordance with the task "Improving the performance of a 4-stroke engine with a capacity of 600 kW for a stationary power plant when replacing the type of fuel (biogas) with the development of the piston design. Prototype 6GCHN 25/34" qualification work contains the necessary design drawings, calculation and explanatory materials for the gas engine 6GCHN 25/34 and a detailed development of the piston group design. The qualification work is a text document in the form of an explanatory note and a graphic design part of the project with a total of 6 sheets of A1 format.

In the second section of the qualification work, according to the specified output parameters of the designed engine ($P = 600 \text{ kW}$), the engine - prototype 6GCHN25/34 ($P = 530 \text{ kW}$ at $n = 600 \text{ min}^{-1}$) was determined and the duty cycle was calculated. The results of the calculations showed that the specified power of the gas engine can be obtained at a gas-air mixture pressure in the engine intake manifold $p_k = 0.19 \text{ MPa}$, compression ratio $\varepsilon = 10.5$, and excess air coefficient $\alpha = 1.75$.

Based on the results of the workflow calculations, an indicator diagram of the actual working cycle and diagrams of the forces acting on the CMM parts were constructed, the values of which were found in the dynamic calculation of the engine.

The explanatory note provides a detailed description of the designed piston group and justifies the proposed design of the piston and piston compression rings. The design of the piston with increased rigidity of the cone and the compression ring with increased tightness and improved wear resistance was developed.

In the technological section of the qualification work, a technological process for assembling a connecting rod and piston group was developed.

The qualification work is allocated to the development of measures to reduce the negative impact of its operation on the operating personnel and the environment.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ	
1.1. Опис об'єкту застосування двигуна	9
1.2. Опис конструкції базового двигуна	12
РОЗДІЛ 2. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ	
2.1 Вимоги до проектного двигуна	16
2.2 Визначення параметрів робочого циклу газового двигуна.	20
2.3 Розрахунок теплового балансу газового двигуна	30
2.4 Розрахунок індикаторної діаграми	35
2.5 Динамічний розрахунок двигуна	39
2.6 Аналіз ефективних показників проектного двигуна та двигуна-прототипу	44
РОЗДІЛ 3. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ	
3.1 Призначення, опис та аналіз існуючих систем та механізмів	46
3.2 Вибір конструкції проектного поршня	48
3.3 Опис конструкції проектного поршня	54
3.4 Розрахунок проектного поршня на міцність	56
3.5 Розробка технологічного процесу складання поршня	60
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	
4.1 Аналіз шкідливих та небезпечних факторів в машинному відділенні при експлуатації двигуна	66
4.2 Заходи по зниженню рівня шуму та зменшення вібрації в машинному відділенні	67
4.3 Заходи по зниженню рівня вібрації проектного двигуна.	69

					<i>ПННІ НУК 131.61.23.25 ПЗ</i>				
Зм.	Арк..	№ документа	Підпис	Дата					
Розробив	Гірда І.І.				<i>Пояснювальна записка</i>		Літера	Лист	Листів
Перевірів	Нестеренко В.В						н	з	76
Рецензент	Дубовець А.І.						<i>61-ТЕМмаг-22з</i>		
Н. контр	Нестеренко В.В								
Затвердив	Нестеренко В.В								

4.4 Техніка безпеки та протипожежний захист	70
4.5 Техніка безпеки при експлуатації двигуна	71
4.6 Охорона навколишнього середовища	72

ВИСНОВКИ	74
-----------------	----

ЛІТЕРАТУРА	76
-------------------	----

ДОДАТКИ:

- Додаток 1 Специфікація двигуна 6ГЧН 25/34
- Додаток 2 Поперечний переріз двигуна 6ГЧН 25/34
- Додаток 3 Поздовжній переріз двигуна 6ГЧН 25/34
- Додаток 4 Схема сил, що діють в КШМ, індикаторна діаграма
- Додаток 5 Специфікація ШПГ
- Додаток 6 Шатунно-поршнева група
- Додаток 7 Поршень
- Додаток 8 Кільце компресійне
- Додаток 9 Технологічний процес складання поршня

					ПННІ НУК 131.61.23.25 ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

ВСТУП

Світове співтовариство визнало парникові гази (ПГ) основною причиною зміни клімату на планеті і дійшло згоди у питанні скорочення їх викидів. Мета інтенсивного скорочення викидів ПГ штучного походження у галузях економіки – стримати глобальне потепління в межах двох градусів у порівнянні з доіндустріальним рівнем. В першу чергу, це стосується декарбонізації технологічних процесів в таких галузях: енергетика, хімічна та металургійна промисловості, транспорт. Для країн Євросоюзу (ЄС), економіка яких займає друге місце в світі після США, таке скорочення викидів ПГ у 2050 р. має становити 95% у порівнянні з викидами 1990 р. Більшість країн почали декарбонізацію з поступового переходу від викопного палива до відновлювальних джерела в електроенергетиці, а далі мають намір поширювати цю стратегію на інші галузі економіки. Німеччина має стратегічний план досягти кліматично нейтрального статусу до 2045 р. Це досить амбітні плани для країн ЄС, які потребують технологічної модернізації не менше 40 % європейської економіки [2] і великих фінансових вкладень відповідно. Але викопне паливо ще досить широко використовується в Центральній і Східній Європі для опалення будівель. На даний час отримані безпосередньо від відновлювальних джерел електричний струм і тепло не можуть бути самостійно використані на транспорті, в ЖКГ, в енергоємних виробництвах хімічної та металургійної промисловості.

У 2020 р. стратегічний курс ЄС на декарбонізацію і відповідно зменшення викидів ПГ штучного походження було закріплено законодавчо в Регламенті «зеленої» класифікації або таксономії (Green Deal). Сутність цього закону – стимулювання інвестицій у сектор низько вуглеводневих технологій, а не у «брудні» для довкілля джерела енергії та технології. Декарбонізація і надходження відповідних фінансів для цього зможуть модернізувати технологічні процеси промислових галузей і забезпечити екологічно безпечний розвиток економіки в цілому з усталеними темпами. Відповідно до методології Регламенту «зеленої»

					ПННІ НУК 131.61.23.25 ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

класифікації в економіці ЄС взято курс на екологічно безпечну діяльність.

Регламент «зеленої» класифікації дозволяє вкладати кошти в пріоритетні проекти і технології за межами ЄС. Це важливо для України, яка очікує у післявоєнний час зовнішнього фінансування у будівництво нових блоків АЕС, у відновлення та модернізацію електростанцій і газової транспортної мережі, у енергозберігаючі технології в ЖКГ.

За даними Укрінформу центральне місце у плані післявоєнного відновлення займає енергонезалежність України. Аналіз літературних джерел довоєнного періоду підтвердив курс української економіки на використання енергоефективних технологій і декарбонізацію. Останнє задекларовано досягти поступовим заміщенням викопного палива електрифікацією транспорту і промисловості. Цей перехід буде отримувати енергію від АЕС, гідроелектростанцій, сонячних і вітрових електростанцій. Розглядаються можливості використання та заміщення природного газу біометаном і воднем в транспортному і електроенергетичному секторах. Ці газові палива можуть бути використані і в інших галузях, технологічних процесах та у виробництві нових синтетичних палив [1].

Фізико-хімічний склад біогазу залежить від базової органічної сировини і відповідно калорійність палива буде різною. Прийнято вважати, що біогаз – це низькокалорійне паливо, до складу якого входять такі компоненти: 50-80 % метану, 25-50 % вуглекислого газу, 1-5 % водню і 0,3-3 % азоту [1].

Виробництво біогазу здійснюється у спеціальних хімічних реакторах або на обладнаних сміттєвих полігонах в процесі метанового бродіння органічних відходів під дією бактерій. Продуктивність і життя цих бактерій можливе лише у вузькому діапазоні плюсових температур. Для стабільної кількості виходу якісного біогазу в спеціальних хімічних реакторах автоматизовані процеси підтримання температури життєдіяльності бактерій.

Далі біогаз проходить попереднє очищення, в першу чергу, від хімічних з'єднань сірки і може бути застосований в когенераційних або в транспортних силових установках. Біогаз при певній концентрації горючої (метанової) складової

					ПННІ НУК 131.61.23.25 ПЗ	Лист
						6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

можна використовувати як самостійне моторне паливо, або як добавку до природного газу. У останньому випадку буде збережено номінальну потужність енергетичних силових установок.

Якщо біогаз продовжити очищати від негорючих складових і довести метанову складову до 90 – 98 %, то такий газ буде називатися біометаном. В Україні не виробляють біометан з біогазу у промислових масштабах. Для збагачення біогазу до біометану необхідно вкладати додаткові кошти в спеціальні хімічні технологічні процеси очищення, які базуються на: мембранній або кріогенній технологіях, методах очищення водою під високим тиском або адсорбції за коливанням тиску таке інше [1].

Для стимулювання розвитку біогазових станцій і подальшого виробництва саме біометану в листопаді 2021 р. в Закон України «Про альтернативні види палива» були внесені зміни. Законодавчо створено основу для виробництва, використання біометану в Україні та експорту його до країн ЄС. Передбачено створення реєстру біометану з відповідними технічними сертифікатами. Такі реєстри вже працюють на ринку газу в країнах ЄС і необхідні при продажу біометану для гарантій відповідності фізико-хімічних властивостей незалежно від походження біометану.

В Законі зазначено, що біометан є аналогом природного газу, може бути використаний як паливо на транспорті. Його використання зменшить забруднення атмосферного повітря, і парниковими газами включно. Це ще один крок у напрямі законодавчого стимулювання процесів декарбонізації економіки в Україні.

Когенераційні установки з електричною потужністю від 20 до 2000 кВт, які оснащені поршневими двигунами, знаходять широке розповсюдження в житлово-комунальному і аграрному секторі України, котеджних селищах, санаторно-лікарняних комплексах та інше. Загально відомо, що в когенераційних установках процес спільного вироблення електричної та теплової енергії дозволяє підвищити к.к.д. до 90 %.

					ПННІ НУК 131.61.23.25 ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

В даній кваліфікаційній роботі запропоновано зміну виду палива двигуна з удосконаленням конструкції поршня.

Мета роботи - дослідження індикаторних та ефективних показників газового двигуна при використанні біогазу в якості пального.

Завданням роботи є розрахунок робочого процесу газового двигуна, який працює на біопаливі, аналітичним методом. Визначення впливу виду палива на ефективні та індикаторні показники двигуна, що проектується, в порівнянні з двигуном-прототипом, а також розробка конструкції поршня.

Об'єкт дослідження - газовий двигун 6ГЧН25/34, який випускається підприємством ТДВ «ПЕРВОМАЙСЬКДИЗЕЛЬМАШ», місто Первомайськ, Миколаївська обл., Україна.

					ПННІ НУК 131.61.23.25 ПЗ	Лист
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

1.1. Опис об'єкту застосування двигуна

При розробці електростанції, на базі двигуна внутрішнього згоряння, що може забезпечити електроенергією споживачів загальною потужністю 600 кВт, в якості базового двигуна був обраний двигун 6ГЧН25/34.

Стаціонарна автоматизована електростанція потужністю 570кВт на базі двигун-генератора ДвГА-570, розміщена в спеціальному приміщенні, призначена для використання як основне та резервне джерело електропостачання трифазним змінним струмом для промислових і комунальних об'єктів. Режим роботи – автономний або паралельний з електричною мережею необмеженої потужності.

Електростанція забезпечує тривалу надійну роботу за наступних умов:

- температура повітря, що оточує дизель-генератор від +8 до +45°C;
- температура зовнішнього повітря від -22 до +47°C;
- відносна вологість не більш 88%;
- висота над рівнем моря до 1000 м;
- сейсмічність за шкалою Ріхтера до 8 балів.

Електростанція може працювати в ручному, автоматизованому і автоматичному режимі управління.

Силова установка розташована на масивному фундаменті для зменшення вібрації та шуму, також в машинному приміщенні електростанції знаходиться обладнання, що обслуговує двигун, а саме: стаціонарні циркуляційні насоси охолодження, балони пускового повітря, балон господарських потреб та повітряні компресори для закачування повітря в балони.

На першому поверсі в щитовому приміщенні знаходяться розподільчий електричний щит, та силовий щит.

Над щитовим приміщенням, на другому поверсі розташовано звукоізований пост керування, що має гарний огляд машинного приміщення.

					ПННІ НУК 131.61.23.25 ПЗ	Лист
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Він обладнаний пультом керування та з панелями приладів, на яких імітовані схеми систем, що обслуговують установку, які надають точкову інформацію про стан установки (температура та тиск робочих рідин, повітря, також контролюється частота обертання колінчастого валу).

В машинному приміщенні біля двигуна розташовано бак мастила, газова шафа та розширювальний бачок води.

Блок охолодження циркуляційної води зовнішнього контуру (мініградирня) та глушник-іскрогасник винесені з приміщення.

Вентиляція двигуна складається з легко знімного зонта, від якого повітря потрапляє до витяжного трубопроводу. Приміщення також має припливну вентиляцію.

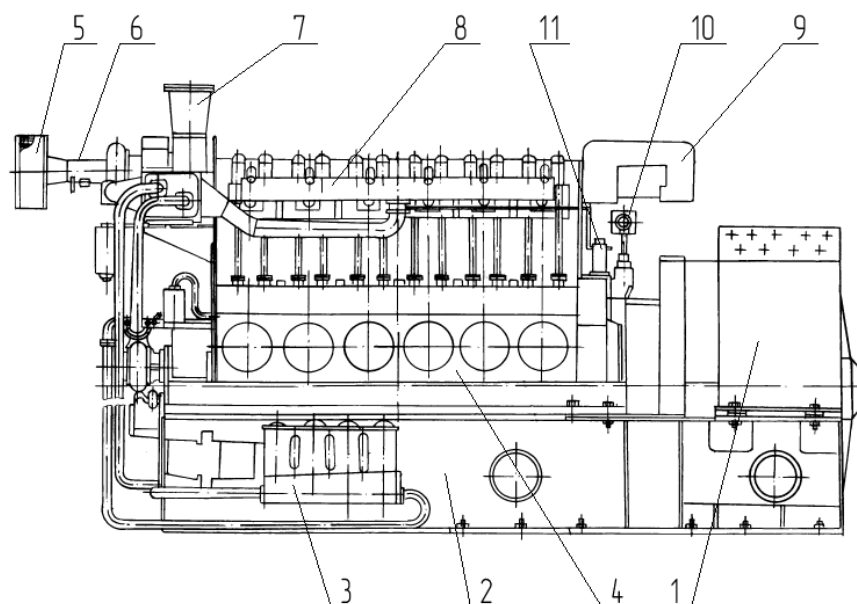


Рисунок 1.1. Двигун-генератор ДвГА-570 з боку розподільчого валу

1 – генератор ; 2 – рама; 3 – фільтр масла повно поточний; 4 – двигун; 5 – фільтр-глушник; 6 – змішувач; 7 – турбокомпресор; 8 – колектор впускний; 9 – щит приладів; 10 – тахометр; 11 – регулятор швидкості

Машинне приміщення обслуговується 15-тонним мостовим краном, що має висячу колодку з кнопками керування. Також в машинному приміщенні встановлена автоматизована протипожежна система.

					ПННІ НУК 131.61.23.25 ПЗ	Лист
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Двигун-генератори ДвГА 570 по конструкції правої моделі з правим обертанням колінчастого валу двигуна. Права модель – газовипускний трубопровід розташований справа, якщо дивитися на двигун з боку генератора у напрямі його осі. Напрямок обертання – правий за годинниковою стрілкою, якщо дивитися на двигун з боку генератора у напрямі його осі.

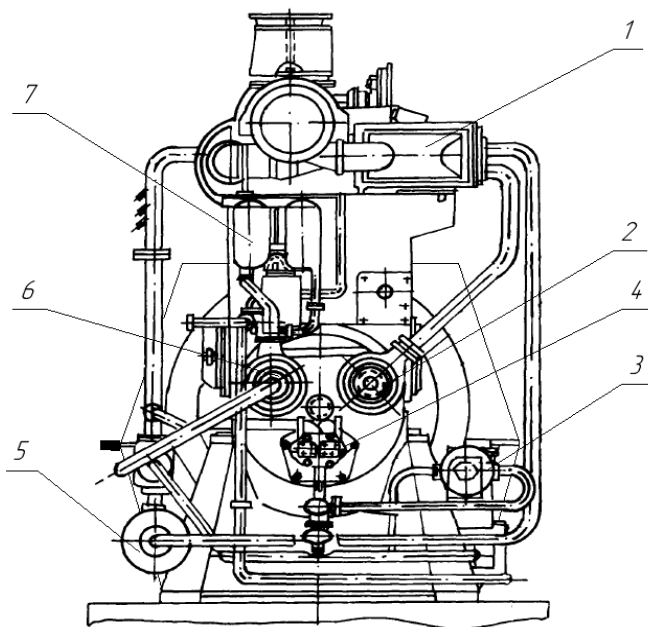


Рисунок 1.2 Двигун-генератор ДвГА-570 поперечний переріз

1 – охолоджувач газоповітряної суміші; 2 – насос води зовнішнього контуру; 3 – агрегат передпускового прокачування масла; 4 – насос масляний; 5 – охолоджувач масла; 6 – насос води внутрішнього контуру; 7 – фільтр масла турбокомпресору

Двигун-генератори ДвГА 570 складаються з двигунів 6ГЧН25/34-1 і генераторів типу СГС 900F, змонтованих на загальній рамі, пристрої збудливого УВГС-С, пристрою УКН-500 (для низьковольтних генераторів) і допоміжного устаткування, встановленого в приміщенні електростанції: бачка води (розширювального), бака масла з відцентровим(ми) фільтром(ми), пускових балонів, компресора для підкачки балонів, глушника-іскрогасника або теплообмінника-утилізатора. З'єднання колінчастого валу двигуна з ротором генератора – жорстке фланцеве.

					ПННІ НУК 131.61.23.25 ПЗ	Лист
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2. Опис конструкції базового двигуна

Двигун 6ГЧН25/34 – чотиритактний, тронковий, простої дії, з газотурбінним наддувом, нереверсивний і відноситься до складу середньо-оборотних двигунів. Дизель призначений для використання в якості приводу генератора.

Фундаментна рама відлита з чавуну, суцільна, ножовоподібної форми, забезпечена поперечними перегородками, посилена ребрами. Внутрішня порожнина рами служить для збору мастила, яке стікає з деталей двигуна, і мастила після охолодження поршня. В постелях, розточених в поперечних перегородках рами і кришках, встановлюються вкладиші рамових підшипників колінчастого валу.

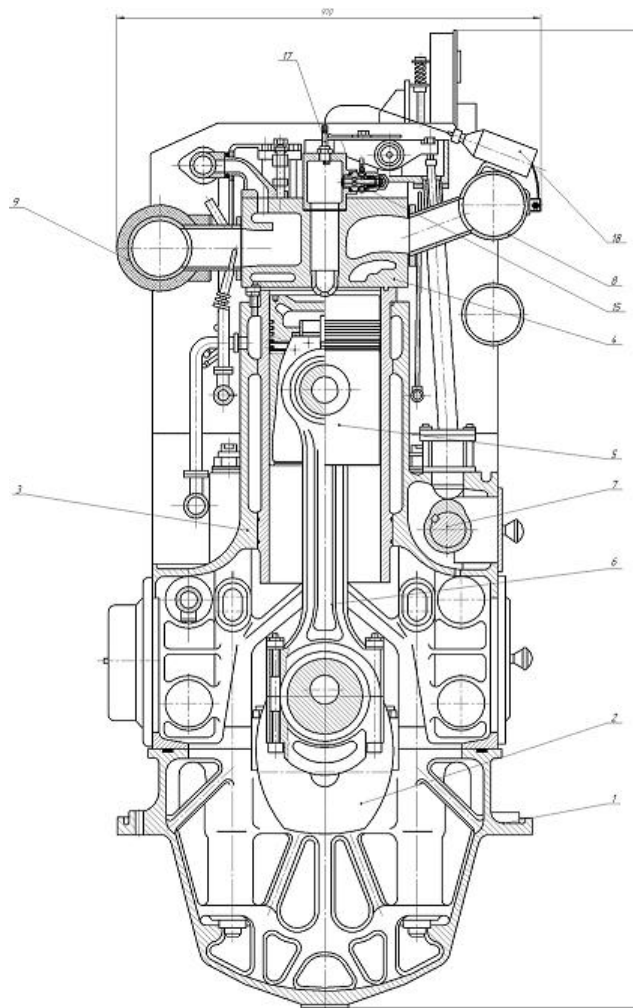


Рисунок 1.3 – Поперечний розріз двигуна 6ГЧН25/34

					ПННІ НУК 131.61.23.25 ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

З обох боків по всій довжині, фундаментна рама має приливи з отворами для болтів кріплення двигуна до рами. З боку вільного кінця валу двигуна до рами кріпиться кришка, на яку встановлюються два водяних і один масляний насоси, а з боку маховика – кожух фланця колінчастого валу з масло відбивним кільцем і сальниковим ущільненням.

Блок-картер чавунний. У верхній частині блоку розміщені втулки робочих циліндрів. Простір між втулками і стінками блоку служить для циркуляції холодної води. Порожнина охолодження ущільнюється мідною прокладкою, що встановлюється під верхній борт втулки і двома гумовими кільцями, розташованими в кільцевих виточках нижнього поясу втулки робочого циліндру.

В проточку на верхньому торці втулки робочого циліндра встановлюється мідна прокладка. В отворах поперечних перегородок встановлюються анкерні пов'язі. Нижня частина блоку є частиною картера двигуна. Зі сторони розподілення по всій довжині блоку є горизонтальна полиця, на якій встановлені корпуси штовхачів впускних і випускних клапанів.

В порожнині під полицею розташований підшипник розподільчого валу, один з яких (перший від маховика) упорний. Порожнина закрита щитами. Для доступу до механізму руху і рамових підшипників в нижній частині блоку з обох сторін є люки, що зачинені кришками, на яких встановлені запобіжні клапани.

До переднього торця блоку кріпиться кожух шестерень приводу насосів та щит з кронштейнами для встановлення турбокомпресора. До заднього торця блоку кріпляться валик з комплектом проміжних шестерень, кожух шестерень приводу розподільного валу і щит з кронштейном для встановлення щита приладів.

У верхню полицю блоку вкручені шпильки для кріплення кришок робочих циліндрів. Верхня частина бокових сторін блоку закрита щитами. Кожен рамовий підшипник складається з нижнього і верхнього вкладишів. Вкладиші сталєво-бабітові. Від обертання і осьового зміщення вкладиші утримуються виступами.

Втулка робочого циліндра виготовлена з чавуну, вставна. Нижній кінець втулки не закріплений і вона вільно подовжується при нагріванні під час роботи

					ПННІ НУК 131.61.23.25 ПЗ	Лист
						13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

двигуна. У проточку на верхньому торці встановлюються мідні прокладки для ущільнення камери згоряння. Під час роботи двигуна, втулки змащуються мастилом, яке подається на дзеркало втулки циліндра рухомими частинами колінчастого валу та шатуна. Для кращого прироблення циліндро-поршневої групи (ЦПГ) двигуна внутрішня поверхня втулки фосфатується.

Колінчастий вал сталевий, суцільно кований, має сім рамових і шість шатунних шийок, при цьому остання рамова шийка не використовується. Кривошипи дизеля 6ГЧН25/34 розташовані по відношенню один до одного під кутом 90°. Мастило з канавок рамових підшипників поступає до шатунних підшипників по каналах, які з'єднують рамові шийки з шатунами, минаючи внутрішні порожнини шийок. На передньому кінці валу встановлені шестерні приводу масляного і водяного насосів. Маховик переднього торця за допомогою шпонки з'єднаний з колінчастим валом і утримується від осьового зміщення упорним кільцем з одного боку і буртом колінчастого валу з іншого. На задньому кінці валу є опорна кільцева поверхня на яку насаджена шестерня колінчастого валу, яка призначена для приводу розподільного валу через проміжну пару шестерень.

Шатун виготовлений з вуглецевої сталі. Стрижень шатуна двотаврового перетину має в центрі канал. У верхній головці шатуна проти каналу виконана кільцева канавка, а в нижній головці – канали, по яких мастило з шатунного підшипника потрапляє в головний.

Поршень суцільнолитий, овальний, виготовлений з чавуну, охолоджуваний і має канавки, в які встановлюються компресійні і маслоснімні кільця. У днищі поршня виконана камера згорання і є різьбові отвори під рими для виїмки поршня з шатуном. Поршень і шатун з'єднуються сталевим, порожнистим поршневим пальцем. Зовнішня поверхня пальця цементована і загартована. Від осьового переміщення палець утримується стопорними кільцями, встановленими в кільцевих канавках бобишок поршня.

Кільця виготовлені з високоміцного чавуну.

					ПННІ НУК 131.61.23.25 ПЗ	Лист
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Комплект поршневих кілець складається з трьох компресійних 4 і двох здвоєних маслознімних кілець 5 (конструктивно відмінних). Компресійні і маслознімні кільця мають в перетині прямокутну форму і прямий замок. Верхнє кільце 4 із зносостійким покриттям (хромоване), середнє кільце 4 і нижнє 4 – без напилення, фосфатовані. Маслознімні кільця мають гострі кромки, які при установці в канавки повинні бути напрямлені донизу. Цими кромками при переміщенні поршня донизу з дзеркала циліндру знімається масло, що через отвори в поршні стікає в картер.

Поршневі кільця не зупиняються конструктивно від провертання в канавках. При установці поршня у втулку циліндру замки поршневих кілець повинні бути зміщені відносно один одного на кут 90° і розташовані по гвинтовій лінії. Різниця поршнів по вазі на одному двигуні не повинна перевищувати 0,5 кг.

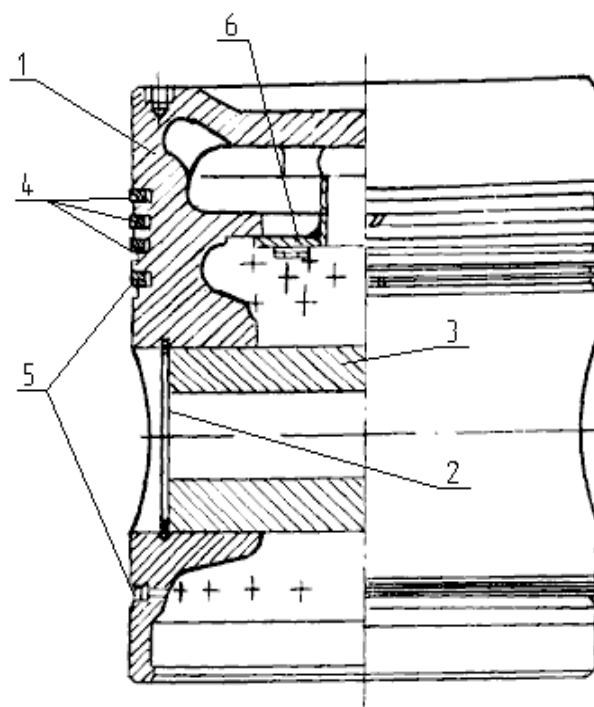


Рисунок 1.4 Поршень

1 – поршень; 2 – стопорне кільце; 3 – палець; 4 – кільце компресійне; 5 – кільце маслознімне; 6 – діафрагма

					ПННІ НУК 131.61.23.25 ПЗ	Лист
						15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ

2.1 Вимоги до проектованого двигуна

2.1 Вимоги до проектованого двигуна

Для забезпечення економічності роботи двигуна потрібно звернути увагу на всі параметри, що впливають на витрату палива і мастила.

Крім відпрацювання параметрів робочого циклу двигуна, що забезпечить високий механічний ККД, необхідно раціонально сконструювати системи двигуна, вибрати оптимальний режим охолодження і таке інше.

Надійність двигуна забезпечується раціональною конструкцією, відсутністю помилок в розрахунках, особливо в розрахунках на міцність. Повинні бути враховані умови роботи двигуна, що можуть виникнути в процесі експлуатації. Припустимий рівень шуму і вібрації забезпечується установкою глушителів шуму, конструктивними заходами зниження шуму у вузлах двигуна. Токсичність вихлопних газів двигуна знижується при правильному виборі параметрів згоряння палива, кута випередження подачі палива, коефіцієнта надлишку повітря.

Зниження токсичності парів мастила забезпечується надійною конструкцією масляної системи. Надійність і безвідмовність системи пуску також впливає на рівень надійності двигуна.

При конструюванні варто забезпечити легкий доступ до основних вузлів двигуна, максимально забезпечити взаємозамінність деталей, забезпечити вільний демонтаж поршня із шатуном через втулку циліндру.

Двигун не повинен бути захаращений трубопроводами, по можливості потрібно уникати навішаних деталей там, де їх можна розташувати окремо. Таким чином, при сукупності конструктивних рішень, ретельного доведення двигуна на іспитах і в процесі експлуатації, можна створити двигун, що відповідає сучасним вимогам.

Застосування двигуна для приводу електричного генератора обумовлює вимоги до таких параметрів, як частота обертання колінчастого валу і потужність.

					ПННІ НУК 131.61.23.25 ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

Вимоги до системи регулювання частоти обертання особливо жорсткі тому, що необхідно забезпечити усталену роботу двигуна на всіх режимах навантаження.

Двигун проектується на базі газового двигуна 6ГЧН 5/34, основні параметри якого наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Основні параметри газового двигуна - прототипу 6ГЧН25/34

Найменування параметра	Од. виміру	Значення
Частота обертання колінчатого валу, n	хв. ⁻¹	600
Середній ефективний тиск, p_{me}	КПа	1070
Номінальна ефективна потужність, P_e	кВт	535
Ресурс до першої переборки, $t_{пер}$	год	8000
Ресурс до капітального ремонту, $t_{кр}$	год	60000
Питома витрата газового палива, b_e	м ³ /кВт·год	0,30
Витрата газового палива за годину, B_r	м ³ /год	160,5
Питома витрата мастила, g_m	г/(кВт·год)	1,0

В основі прийнятого методу аналітичного розрахунку лежить метод Гриневецького - Мазинга.

Проведемо вибір і обґрунтування вихідних параметрів для розрахунку робочого процесу:

При виконанні розрахунку робочого циклу двигуна потрібно враховувати призначення двигуна, вид палива, частоту обертання колінчастого валу та конструктивні особливості проектного двигуна. При оцінці вихідних параметрів для розрахунку робочого процесу може бути використаний досвід накопичений при конструюванні і експлуатації подібних двигунів, і наявні експериментальні дані.

Тиск і температура навколишнього середовища.

Як правило, при розрахунках робочого циклу приймається тиск навколишнього середовища $P_0 = 0,1$ МПа, а температура $t_0 = 20^\circ\text{C}$. При високих температурах і низькому тиску навколишнього середовища потужність двигуна зменшується.

Ступінь стиску.

Ступінь стиску для газових двигунів $\varepsilon = 8 \dots 12$ і обмежується в основному появою детонаційного горіння в циліндрах двигуна при високих ε . В конкретному газовому двигуні ступінь стиску має бути такою, щоб температура стиску не перевищувала температури самозапалювання газоповітряної суміші $t_c = 640^\circ\text{C}$ [1] стор.154

Коефіцієнт надлишку повітря.

Коефіцієнт надлишку повітря для згоряння газового складає $\alpha = 1,1 \dots 1,8$ [1] стор.32 і уточнюють при виконанні розрахунку робочого циклу газового двигуна. При $\alpha = 1,8 \dots 2,0$ робота газового двигуна стає не стабільною по причині пропуску запалювання бідної газо - повітряної суміші, а при $\alpha = 1,1 \dots 1,4$ максимальна температура робочого циклу стає занадто високою $T_z > 2200$ К.

Тиск наддуву у газових двигунах із подачею газо - повітряної суміші під надлишковим тиском має бути таким, щоб, з однієї сторони, забезпечити необхідну потужність двигуна, а з другої сторони, таким, щоб температура ГПС в кінці стиску не перевищувала температури її самозапалювання

Коефіцієнт продувки камери згоряння.

Для газових двигунів із системою зовнішнього сумішоутворення коефіцієнт продувки приймається $\varphi_a = 1,02 \dots 1,05$, так як кут перекриття впускного і випускного клапанів не значний $\alpha_{\text{пер}} \approx 50^\circ$.

Підігрів заряду свіжого повітря, або газо - повітряної суміші від стінок циліндру, яких він торкається при наповненні циліндру, знаходиться по дослідним даним в межах $\Delta t = 5 \dots 20^\circ\text{C}$ [3] стор.56. Для розрахунків приймаємо $\Delta t = 10^\circ\text{C}$.

					ПННІ НУК 131.61.23.25 ПЗ	Лист
						18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Коефіцієнти використання теплоти.

Дослідні величини коефіцієнтів використання теплоти в точках z і b робочого циклу складають $\xi_z = 0,70 \dots 0,85$ і $\xi_b = 0,84 \dots 0,95$. [3] стор.103. Для двигунів із порівняно низькими обертами колінчастого валу $n = 500 \dots 750$ об/хв приймаємо для розрахунку робочого циклу такі коефіцієнти $\xi_z = 0,80$ і $\xi_b = 0,95$.

Ступінь підвищення тиску

Ступінь підвищення тиску при згорянні λ залежить від швидкохідності двигуна, ступеню наддуву, організації процесів утворення робочої суміші і ряду інших факторів. При розрахунках для середньооборотних двигунів рекомендується приймати $\lambda = 1,35 \dots 2,2$. [2] стор.41.

Охолодження наддувочного повітря

Зниження температури наддувочного повітря або газоповітряної суміші в одноступеневому охолоджувачі повітря приймаємо в межах $40 \dots 60^\circ\text{C}$ [3] стор.207.

Температура залишкових газів

При виконанні розрахунку робочого процесу двигуна температуру залишкових газів рекомендується приймати в межах $T_r = 600 \dots 900$ К. В розрахунку приймаємо $T_r = 750$ К. [3] стор.125.

Коефіцієнт закруглення індикаторної діаграми.

Коефіцієнт закруглення індикаторної діаграми рекомендується для карбюраторних і газових двигунів приймати $\phi = 0,93 \dots 0,97$. [3] стор.107

Показник політропи стиску в компресорі.

Показник політропи стиску у відцентровому компресорі із не охолоджуваним корпусом знаходиться в межах $n_k = 1,45 \dots 1,8$. [3] стор.170. Для розрахунку робочого циклу приймаю $n_k = 1,6$.

					<i>ПННІ НУК 131.61.23.25 ПЗ</i>	Лист
						19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2 Розрахунок робочого процесу газового двигуна.

1. Умова завдання:

Ефективна потужність	$P_e =$	600	кВт
Частота обертання колінчастого валу.	$n =$	750	хв ⁻¹
Діаметр циліндра	$d =$	250	мм
Хід поршня	$S =$	340	мм
Ступінь стиску	$\varepsilon =$	9	
Коефіцієнт надлишку повітря	$\alpha =$	1,7	
Число циліндрів	$i =$	6	
Коефіцієнт тактності	$z =$	4	

2. Вихідні дані для теплового розрахунку.

Тиск наддуву	$p_b =$	185	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	$n_1 =$	1,32	
розширення	$n_2 =$	1,27	
Коефіцієнт використання теплоти в точці "Z"	$\xi_z =$	0,85	
Коефіцієнт повноти індикаторної діаграми	$\xi =$	0,9	
Нижча теплота згорання біогазу	$Q_H =$	21350	кДж/м ³

Склад:	в %		В об'ємних долях	
метан	$CH_4 =$	59	$R_{CH_4} =$	0,59
етан	$C_2H_6 =$	0	$R_{C_2H_6} =$	0
пропан	$C_3H_8 =$	0	$R_{C_3H_8} =$	0
бутан	$C_4H_{10} =$	0	$R_{C_4H_{10}} =$	0
пентан	$C_5H_{12} =$	0	$R_{C_5H_{12}} =$	0
вуглекислота	$CO_2 =$	38	$R_{CO_2} =$	0,38
оксид вуглецю	$CO =$	0	$R_{CO} =$	0
азот	$N_2 =$	1	$R_{N_2} =$	0,01

					<i>ПННІ НУК 131.61.23.25 ПЗ</i>	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

кисень	$O_2 =$	0	$R_{O_2} =$	0
водень	$H_2 =$	2	$R_{H_2} =$	0,02

3. Параметри робочого тіла.

Теоретично необхідна кількість повітря для згоряння 1 кмоль газу.

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

$$L_0 = 5,67 \text{ кмоль/кмоль}$$

Загальна кількість продуктів свіжого заряду.

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

$$M_1 = 10,63 \text{ кмоль/кмоль}$$

Кількість окремих компонентів продуктів згоряння.

$$\text{Кількість } CO_2: M_{CO_2} = CO + \sum (nC_n H_m + CO_2), \text{ кмоль}$$

$$M_{CO_2} = 2,49 \text{ кмоль}$$

$$\text{Кількість } H_2O: M_{H_2O} = H_2 + \sum (0.5m C_n H_m), \text{ кмоль}$$

$$M_{H_2O} = 1,18 \text{ кмоль}$$

$$\text{Кількість } O_2: M_{O_2} = 0.21 \times (\alpha - 1) \times L_0, \text{ кмоль}$$

$$M_{O_2} = 0,833 \text{ кмоль}$$

$$\text{Кількість } N_2: M_{N_2} = 0.79 \times \alpha \times L_0 + N_2, \text{ кмоль}$$

$$M_{N_2} = 7,620 \text{ кмоль}$$

Загальна кількість продуктів згоряння.

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

$$M_2 = 12,123 \text{ кмоль}$$

Змінення об'єму при згорянні 1 кмоль газу.

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

$$\Delta M = 1,49 \text{ кмоль}$$

Теоретичний коефіцієнт молекулярної зміни.

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

$$\beta_0 = 1,1401$$

4. Параметри процесу наповнення.

Температура повітря після нагнітача.

$$T_{\epsilon} = T_a \times \left(\frac{P_{\epsilon}}{P_a} \right)^{\frac{n_{\kappa} - 1}{n_{\kappa}}}, K$$

					ПННІ НУК 131.61.23.25 ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

$$T_B = 367,2 \text{ K}$$

Температура повітря після охолоджувача.

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

$$\text{число з інтервалу} = 30$$

$$\Delta T_{\text{int}} = 337,2 \text{ K}$$

Температура газоповітряної суміші.

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

$$T_{\text{см}} = 321,6 \text{ K}$$

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

Коефіцієнт залишкових газів.

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

$$\text{де } P_d = 0,95 \times P_\phi$$

$$P_d = 175,8 \text{ кПа}$$

$$\gamma_r = 0,063$$

Коефіцієнт наповнення.

$$\varphi_n = \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \times \frac{P_d}{P_\phi} \times \frac{T_{\text{см}}}{T_{\text{см}} + \Delta T + \gamma_r T_r}$$

$$\varphi_n = 0,92$$

Температура газоповітряної суміші на початку стиску.

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

$$T_d = 352 \text{ K}$$

5. Параметри процесу стиску.

Тиск в кінці стиску.

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

$$P_c = 3195,2 \text{ кПа}$$

Температура в кінці стиску.

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

$$T_c = 710,5 \text{ K}$$

$$t_c = 437,5^\circ \text{C}$$

6. Параметри процесу згоряння.

Дійсний коефіцієнт молекулярної зміни.

					ПННІ НУК 131.61.23.25 ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

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

$$\beta = 1,1318$$

Максимальна температура циклу знаходиться з рівняння балансу:

$$\frac{\xi \cdot 224 \cdot Q_H}{(1 + \gamma_r) \cdot (1 + \alpha \cdot L_0)} = \beta_z \cdot m C_p m_z \cdot t_z - (m C_v m_{cm} + 8.314 \lambda) \cdot t_c$$

склад продуктів згорання в об'ємних долях:

$$R_{CO_2} = \frac{M_{CO_2}}{M_2}$$

$$R_{CO_2} = 0,2054$$

$$R_{CO_2} = \frac{M_{H_2O}}{M_2}$$

$$R_{H_2O} = 0,0973$$

$$R_{O_2} = \frac{M_{O_2}}{M_2}$$

$$R_{O_2} = 0,0687$$

$$R_{N_2} = \frac{M_{N_2}}{M_2}$$

$$R_{N_2} = 0,6286$$

Мольна теплоємність продуктів згорання:

$$m C_{v_{me}} = R_{O_2} \cdot m C_{v_{O_2}} + R_{N_2} \cdot m C_{v_{N_2}} + R_{H_2O} \cdot m C_{v_{H_2O}} + R_{CO_2} \cdot m C_{v_{CO_2}}$$

$$\text{для } O_2: m C_{v_{O_2}} = 19,818 + 418,6 \cdot 10^{-5} \cdot t_z$$

$$\text{для } N_2: m C_{v_{N_2}} = 19,818 + 418,6 \cdot 10^{-5} \cdot t_z$$

$$\text{для } CO_2: m C_{v_{CO_2}} = 30,05 + 1255,8 \cdot 10^{-5} \cdot t_z$$

$$\text{для } H_2O: m C_{v_{H_2O}} = 22,416 + 1004,6 \cdot 10^{-5} \cdot t_z$$

Після підстановки одержимо рівняння.

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

де:

$$a = 18,93$$

$$b = 511,89$$

теплоємність газового палива.

					ПННІ НУК 131.61.23.25 ПЗ	Лист
						23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

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

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

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

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

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

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

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

Після підстановки одержимо рівняння.

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

де:

$$a = 18,84$$

$$b = 3447,91$$

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:

$$a = 20,16$$

$$b = 513,92$$

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.

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

Після підстановки одержимо рівняння.

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

де:

$$a = 20,16$$

$$b = 256,96$$

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

					ПННІ НУК 131.61.23.25 ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

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

Після підстановки одержимо рівняння.

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

де:

$$a = 29,162$$

$$b = 535,827$$

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

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

$$a = 29,162$$

$$b = 267,914$$

Максимальна температура процесу згоряння.

Після підстановки одержимо квадратне рівняння.

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

де:

$$A = 303,229$$

$$B = 33,006$$

$$C = 54169,4$$

Звідки:

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

$$t_z = 1448,4 \text{ C} \quad T_z = 1721,4 \text{ K}$$

Максимальний тиск згоряння.

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

$$p_{\max} = 8761,9 \text{ кПа}$$

Ступінь підвищення тиску

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

$$\lambda = 2,74$$

$$\Delta \lambda = 9,69 \%$$

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

Ступінь попереднього розширення.

					ПННІ НУК 131.61.23.25 ПЗ	Лист
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

$$\rho = 1$$

7. Параметри процесу розширення.

Ступінь подальшого розширення.

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

$$\delta = 9$$

Тиск в кінці розширення.

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

$$p_b = 537,9 \text{ кПа}$$

Температура в кінці розширення.

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

$$T_b = 951,1 \text{ К}$$

Середня температура випускних газів.

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

$$T_{\text{ср.г.}} = 767,8 \text{ К}$$

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

Температура залишкових газів.

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

$$T_r = 683,9 \text{ К}$$

$$\text{Перевірка: } \frac{|T_r^3 - T_r|}{T_r^3} \times 100 \% = 8,81 \%$$

8. Індикаторні показники робочого процесу.

Середній теоретичний індикаторний тиск.

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

					ПННІ НУК 131.61.23.25 ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

$$P_{mi} = 1066,41 \text{ кПа}$$

Індикаторний ККД.

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

$$\eta_i = 0,39$$

Питома індикаторна витрата газу.

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

$$g_i = 0,43 \text{ м}^3 / (квт \cdot год)$$

9 Ефективні показники робочого циклу.

Середній тиск механічних втрат.

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

Середня швидкість поршня.

$$V_{П.СР} = \frac{S_{ПР} \cdot n}{30}, M / C$$

$$S_{ПР} = 0,34 \text{ - хід поршня, м}$$

$$V_{П.СР} = 8,5 \text{ м/с}$$

$$P_M = 131,8 \text{ кПа}$$

Середній ефективний тиск.

$$P_{me} = P_{mi} - P_m, \text{ кПа}$$

$$P_{me} = 934,60 \text{ кПа}$$

Механічний К.К.Д.

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

$$\eta_M = 0,88$$

Ефективний К.К.Д.

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

$$\eta_e = 0,344$$

Питома ефективна витрата газу.

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

					ПННІ НУК 131.61.23.25 ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

$$b_e = 0,491 \text{ м}^3/(\text{кВт} \cdot \text{год})$$

Годинна витрата газу.

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

$$B = 294,3 \text{ м}^3/\text{год}$$

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.

$$V_{st} = 102,72 \text{ Л}$$

$$V_s = \frac{V_{st}}{i}, \text{ Л}$$

$$V_s = 17,12 \text{ Л}$$

Діаметр циліндра.

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

$$m = \frac{S_{пп}}{d_{пп}}$$

$$d_{пп} = 0,25 \text{ м}$$

$$m = 1,36$$

$$d = 252,2 \text{ мм}$$

Хід поршня.

$$S = m \times d, \text{ мм}$$

$$S = 343,0 \text{ мм}$$

11 Уточнені розміри циліндра двигуна.

Діаметр циліндра.

$$d = 250 \text{ мм}$$

Хід поршня.

$$S = 340 \text{ мм}$$

Літраж двигуна.

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

$$V_{st} = 100,09 \text{ Л}$$

Робочий об'єм ходу поршня.

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

$$V_s = 16,68 \text{ Л}$$

					ПННІ НУК 131.61.23.25 ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

Ефективна потужність двигуна.

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

$$P_{ep} = 584,6 \text{ кВт}$$

Отримана величина P_{ep} відрізняється від заданої на:

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

$$P_{еср} = \frac{P_{ep} + P_e}{2}$$

$$P_{еср} = 592,3 \text{ кВт}$$

$$\Delta P_e = 2,59 \%$$

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

					ПННІ НУК 131.61.23.25 ПЗ	Лист
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.3 Розрахунок теплового балансу газового двигуна

Вихідні дані:

ефективна потужність двигуна	$P_e =$	584,6 кВт
частота обертання колінвалу	$n =$	750 хв-1
діаметр циліндру	$D =$	250 мм
хід поршня:	$S =$	340 мм
число циліндрів:	$i =$	8
коефіцієнт тактності:	$Z =$	4
нижча теплота згорання газу:	$Q_H =$	21350 кДж/кг
годинна витрата газу:	$B_r =$	294,3 $m^3 / год$
Індикаторний к.к.д.:	η_i	0,39
ефективний к.к.д.:	η_e	0,34
кількість свіжого заряду	$M_1 =$	10,633 кмоль/кг
загальна кількість продуктів згорання	$M_r =$	12,123 кмоль/кг
температура випускних газів	$T_{ср.г.} =$	767,8 К
температура на початку стиску	$T_d =$	351,7 К
мольна теплоємність продуктів згорання при постійному об'ємі:	$mC_v =$	24,05 кДж/(кмоль*К)
мольна теплоємність свіжого заряду при постійному об'ємі:	$mC_v =$	21,86 кДж/(кмоль*К)
середній індикаторний тиск:	$P_{mi} =$	1066,41 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:

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

$$Q_{II} = 1745,7 \text{ кВт}$$

у відсотковому відношенні q_{II} приймаємо за 100%

Теплота, еквівалентна ефективній роботі двигуна:

$$Q_e = 1000 \cdot P_e$$

$$Q_e = 584,6 \text{ кВт}$$

					ПННІ НУК 131.61.23.25 ПЗ	Лист
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

у відсотковому відношенні

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

$$q = 33,5 \%$$

Перевірка: $Q'_e = Q_n \cdot \eta_e$

$$Q'_e = 600 \text{ кВт}$$

Вираховуємо похибку

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

$$\Delta = -2,63 \%$$

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 дільницях наповнення, стиску, горіння-розширення та випуску газів із циліндра.

З експериментальних даних:

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

$$W_{ст.} = 0 \quad W_{вип.} = 0,01-0,07 \quad 0,02$$

$$Q_w = 192,0 \text{ кВт}$$

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

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

$$C_m = 8,5 \text{ м/с}$$

$$P_{мд} = 188,3 \text{ кПа}$$

Середній тиск тертя поршня:

$$P_{ср.т.} = 0,6 \cdot P_{мд}$$

$$P_{ср.т.} = 112,98 \text{ кПа}$$

					ПННІ НУК 131.61.23.25 ПЗ	Лист
						31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Потужність тертя поршнів двигуна:

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

де V_s - робочий об'єм циліндру.

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

$$V_s = 0,0167 \text{ м}^3$$

$$P_n = 94,2 \text{ кВт}$$

Теплота, еквівалентна роботі тертя поршнів:

$$Q_{T.П.} = P_{П.}$$

$$Q_{T.П.} = 94,2 \text{ кВт}$$

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

$$Q_B = Q_W + Q_{T.П.}$$

$$Q'_B = 286,3 \text{ кВт}$$

тоді витрата охолоджуючої рідини:

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

$K = 1,2-1,5$ - коефіцієнт запасу.

$$K = 1,5$$

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

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

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

$$\Delta T_e = 10 \text{ К}$$

$$V_B = 0,0102 \text{ м}^3/\text{с}$$

Потужність, яка використовується на привід водяного насосу.

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

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

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

$$\eta_{в.н.} = 0,6$$

$$P_{в.н.} = 1,67 \text{ кВт}$$

Тоді $Q_{в.н.} = 1,67 \text{ кВт}$

Загальна кількість теплоти, яка відводиться охолоджувальною рідиною.

$$Q_e = Q_W + Q_{T.П.} + Q_{в.н.}$$

$$Q_e = 287,9 \text{ кВт}$$

					ПННІ НУК 131.61.23.25 ПЗ	Лист
						32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

що складає у відсотковому відношенні:

$$q_e = Q_e / Q_{II} \cdot 100\%$$

$$q_e = 16,49 \%$$

Теплота, яка виноситься випускними газами:

$$Q_{\Gamma} = \frac{B_r}{36 \times 224} \left[M_2 \cdot (mC_p'')_{T_0}^{T_{cpz}} \cdot T_{cpz} - M_1 \cdot (mC_p')_{T_0}^{T_d} \cdot T_d \right]$$

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

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

$$mC_p'' = 32,36 \text{ кДж/(кмоль} \cdot \text{K)}$$

$$mC_p' = 30,18 \text{ кДж/(кмоль} \cdot \text{K)}$$

$$Q_{\Gamma} = 838,6 \text{ кВт}$$

Що складає у відсотковому відношенні:

$$q_{\Gamma} = Q_{\Gamma} / Q_{II} \cdot 100\%$$

$$q_{\Gamma} = 48,04 \%$$

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

Теплота, яка відводиться маслом, від гарячих деталей двигуна.

$$Q_{MD} = (Q_w + Q_{MD}) - Q_e$$

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

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

$$\Delta_{MD} = 0,0692$$

тоді

$$Q_{MD} = 120,9 \text{ кВт}$$

$$Q_{M1} = 25,0 \text{ кВт}$$

Теплота, еквівалентна роботі на привід насоса системи мащення.

Витрата циркуляційного масла.

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

$K = 1,2 - 1,5$ - коефіцієнт запасу $K = 1,5$

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

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

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

					ПННІ НУК 131.61.23.25 ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

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

$$V_m = 0,0025 \text{ м}^3/\text{с}$$

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.

$$\eta_m = 0,7$$

$$P_{M.H.} = 1,42 \text{ кВт}$$

тоді $Q_{H2} = 1000 \cdot P_{MH}$

$$Q_{M2} = 1,4 \text{ кВт}$$

Загальна кількість теплоти складає:

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

$$Q_M = 26,4 \text{ кВт}$$

у відсотковому відношенні

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

$$q_M = 1,51 \%$$

Невраховані теплові втрати

$$Q_{H.B.} = Q_{II} (Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_M)$$

$$Q_{H.B.} = 8,1 \text{ кВт}$$

що складає у відсотковому відношенні:

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

$$q_{H.B.} = 0,46 \%$$

Всі отримані дані зведені в таблицю 2.5

Таблиця 2.5 Зведена таблиця теплового балансу.

Складові теплового балансу	кВт	%
теплота, еквівалентна ефективній роботі	584,6	33,5
теплота, яка відводиться охолоджувальною рідиною	287,9	16,5
теплота, яка виноситься випускними газами	838,6	48,0
теплота, яка відводиться маслом	26,4	1,5
невраховані теплові втрати	8,1	0,5
Загальна кількість теплоти, введеної в двигун з паливом	1745,7	100

					ПННІ НУК 131.61.23.25 ПЗ	Лист
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.4 Розрахунок індикаторної діаграми.

Розрахунок теоретичної індикаторної діаграми.

Вихідні дані

$P_{mi} =$	1,066 МПа	Середній індикаторний тиск.
$P_d =$	0,1758 МПа	Тиск в кінці впуску.
$n_1 =$	1,320	Показник політропи стиску.
$\varepsilon_c =$	9,000	Ступінь стиску.
$P_{max} =$	8,762 МПа	Максимальний тиск в циліндрі.
$n_2 =$	1,270	Показник політропи розширення.
$\rho =$	1,000	Ступінь попереднього розширення.
$m_p =$	0,030 МПа/мм	Масштаб по осі тиску.
$\xi =$	0,900	

Таблиця 2.3

Результати розрахунку.

V/V_c	$P_{CT}, \text{МПа}$	$P_{CT}, \text{мм}$	$P_{роз}, \text{МПа}$	$P_{роз}, \text{мм}$	$P_{cp}, \text{МПа}$
1	3,195	106,5	8,762	292,1	5,567
1,25	2,380	79,3	6,600	220,0	4,220
1,5	1,871	62,4	5,236	174,5	3,365
1,75	1,526	50,9	4,305	143,5	2,778
2	1,280	42,7	3,633	121,1	2,353
3	0,749	25,0	2,171	72,4	1,422
4	0,513	17,1	1,507	50,2	0,994
5	0,382	12,7	1,135	37,8	0,753
6	0,300	10,0	0,900	30,0	0,600
7	0,245	8,2	0,740	24,7	0,495
8	0,205	6,8	0,625	20,8	0,419
$P_{mi}^d =$					1,111

Об'єм камери згорання

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

$$V_s = [AB] = 190 \text{ мм}$$

Приведений робочий об'єм

$$V_c = 23,75 \text{ мм}$$

Похибка середнього індикаторного тиску.

$$\Delta P_{mi} = \frac{|P_{mi} - P_{mi}^D|}{P_{mi \text{ ср}}} \times 100\%$$

$$P_{mi \text{ ср}} = \frac{P_{mi} + P_{mi}^D}{2}, \text{ МПа}$$

$$P_{mi \text{ ср}} = 1,089 \text{ МПа}$$

$$\Delta P_{mi} = 4,08$$

Похибка не перевищує 5%

					ПННІ НУК 131.61.23.25 ПЗ	Лист
						36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Побудова дійсної індикаторної діаграми.

$C', \text{ ДоВМТ}$ точка подачі іскри.

$f, \text{ ДоВМТ}$ Визначається кутом випередження запалювання
точка початку згорання, визначається кутом затримки
згорання: $\Delta\varphi_1 =, ^\circ \text{ ПКВ}$

$\Delta\varphi_2, \text{ ПісляВМТ}$ кут після ВМТ, де тиск максимальний

$b', \text{ ПісляВМТ}$ точка відкриття випускного клапану

$r', \text{ ДоВМТ}$ точка відкриття впускного клапану

$r'', \text{ ПісляВМТ}$ точка закриття випускного клапану

$d', \text{ ДоВМТ}$ точка закриття впускного клапану

c'' точка тиску газів в ВМТ в кінці такту стиску

Z_d точка максимального тиску газів

Вихідні дані.

$\lambda_L =$	0,250	Кривошипно-шатунне відношення.
$[AB]=$	190	мм Відстань від ВМТ до НМТ на діаграмі.
$\Delta \varphi_1 =$	10	$^\circ \text{ ПКВ}$ Кут затримки згорання.
$P_r=$	0,200	МПа Тиск залишкових газів.
$m_p=$	0,030	МПа/мм Масштаб тиску.
$S=$	340	мм Хід поршня.
$P_c=$	3,195	МПа Тиск в кінці стиску.
$P_{\max}=$	8,762	МПа Максимальний тиск.

Таблиця 2.4 Визначення точок дійсної індикаторної діаграми.

Позначка точки $\varphi^0, \text{ ПКВ}$	Положення точки відносно ВМТ, $\varphi^0, \text{ ПКВ}$	Постійна $X = (1 - \cos\varphi) + \frac{\lambda_L}{4} \times (1 - \cos 2\varphi)$	Відстань від ВМТ до точки $X \times \frac{[AB]}{2}, \text{ мм}$
$C', \text{ ДоВМТ}$	15	0,042	4,0
$f, \text{ ДоВМТ}$	5	0,005	0,5
$\Delta\varphi_2, \text{ ПісляВМТ}$	10	0,019	1,8
$b', \text{ ПісляВМТ}$	130	1,716	163,0
$r', \text{ ДоВМТ}$	10	0,019	1,8
$r'', \text{ ПісляВМТ}$	30	0,165	15,7
$d', \text{ ДоВМТ}$	150	1,897	180,2

Ордината точки г

$$\frac{P_r}{m_p}, \text{ мм} \quad 6,7 \quad \text{мм}$$

Тиск газів в ВМТ.

$$P_c'' = (1.15 - 1.25) \times P_c$$

1,2 Число з інтервалу.

$$\begin{aligned} P_c'' &= 3,83 \quad \text{МПа} \\ P_c'' &= 127,8 \quad \text{мм} \end{aligned}$$

Максимальний тиск згорання.

для карбюраторних і газових двигунів: $P_{zd} = P_{\max} * 0,85$

$$\begin{aligned} P_{zd} &= 7,45 \quad \text{МПа} \\ P_{zd} &= 248 \quad \text{мм} \end{aligned}$$

Поправка Брікса

$$OO' = \frac{R \cdot \lambda_L}{2}, \text{ мм}$$

$$OO' = 21,3 \quad \text{мм}$$

Масштаб переміщення

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

$$M_s = 1,79$$

Поправка Брікса в масштабі переміщення

$$OO = \frac{OO'}{M_s}, \text{ мм}$$

$$OO = 11,9 \quad \text{мм}$$

2.5 Динамічний розрахунок двигуна

Для виконання розрахунків на міцність деталей двигуна, що рухаються необхідно знати величини сил, які діють на КШМ. Для знаходження сил, що діють на деталі КШМ і виконується динамічний розрахунок двигуна.

Вихідні дані:

$d=$	0,25	м - діаметр циліндра
$s=$	0,34	м - хід поршня
$\lambda_L=$	0,250	- кривошипно-шатунне відношення
$r=$	0,17	м - радіус кривошипа
$n=$	750	хв^{-1} - частота обертання
$m_s=$	74,6	кг - маса деталей, що рухаються зворотно-поступально
$m_F=$	1,00	кН/мм - масштаб сил
$m_p=$	0,05	МПа/мм масштаб тиску.

Кутова швидкість

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

$$\omega = 78,5 \quad \text{с}^{-1}$$

Площа днища поршня

$$A = \frac{\pi \times d^2}{4}$$

$$A = 0,049 \quad \text{м}^2$$

Сила тиску газу

$$F_z = (P_c - P_a) \times \frac{\pi d^2}{4}, H$$

Сила інерції мас, що рухаються зворотно-поступально.

$$F_u = -m_s r \omega^2 (\cos \varphi + \lambda_L \cos 2\varphi), H$$

Сумарна сила (дійсна).

$$F_d = F_z \pm F_u, H$$

Нормальна сила.

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

Радіальна сила.

$$F_r = F_d \frac{\cos(\varphi + \beta)}{\cos \beta}, H$$

Дотична сила.

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

					ПННІ НУК 131.61.23.25 ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

Сила інерції мас, що рухаються обертально.

$$F_{иоб} = -m_R r \omega^2, Н$$

$$F_{иоб} = -47,4 \quad \text{кН}$$

$$F_{иоб} = -47,4 \quad \text{мм}$$

Маса деталей, що рухаються обертально

$$m_R = 45,29 \quad \text{кг}$$

Тиск газів в залежності від кута повороту колінчастого вала

$$\text{для } \varphi = 10 \dots 180^\circ \quad P_u = P_d$$

$$\text{для } \varphi = 190 \dots 350^\circ \quad P_u = P_d \left(\frac{V_a}{V_f} \right)^{n_1}$$

$$\text{для } \varphi = 360^\circ \quad P_u = \frac{P_{\max} + P_c}{2}$$

$$\text{для } \varphi = 370^\circ \quad P_u = P_{\max}$$

$$\text{для } \varphi = 380 \dots 530^\circ \quad P_u = P_{\max} \left(\frac{V_c \cdot \rho}{V_f} \right)^{n_1}$$

$$\text{для } \varphi = 540^\circ \quad P_u = \frac{P_b + P_d}{2}$$

$$\text{для } \varphi = 550 \dots 720^\circ \quad P_u = P_r$$

Робочий об'єм

$$V_s = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot S = 0,01668 \text{ м}^3$$

Об'єм камери сгорання

$$V_c = \frac{V_s}{\varepsilon - 1} = 0,00209 \text{ м}^3$$

Повний об'єм

$$V_a = V_s + V_c = 0,018766 \text{ м}^3$$

Перемінний об'єм циліндра в залежності від кута повороту колінчастого вала

$$V_f = A r \left[(1 - \cos \varphi) + \frac{\lambda_L}{4} (1 - \cos \varphi) \right] + V_c, \text{ м}^3$$

					ПННІ НУК 131.61.23.25 ПЗ	Лист
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Продовження таблиці 2.5

250	0,0142	7,490	41,701	49,191	-10,138	-27,996	-42,158	7,49	41,70	49,19	-10,14	-28,00	-42,16
260	0,0129	9,194	31,934	41,128	-8,759	-17,430	-38,689	9,19	31,93	41,13	-8,76	-17,43	-38,69
270	0,0115	11,548	19,540	31,088	-6,690	-8,027	-31,088	11,55	19,54	31,09	-6,69	-8,03	-31,09
280	0,01	14,853	4,789	19,642	-4,183	-1,503	-20,210	14,85	4,79	19,64	-4,18	-1,50	-20,21
290	0,0085	19,583	-11,764	7,819	-1,611	0,898	-7,994	19,58	-11,76	7,82	-1,61	0,90	-7,99
300	0,007	26,502	-29,310	-2,808	0,545	-0,865	2,743	26,50	-29,31	-2,81	0,54	-0,86	2,74
310	0,0057	36,826	-46,847	-10,021	1,764	-4,944	8,933	36,83	-46,85	-10,02	1,76	-4,94	8,93
320	0,0045	52,369	-63,267	-10,898	1,652	-7,208	8,364	52,37	-63,27	-10,90	1,65	-7,21	8,36
330	0,0035	75,270	-77,459	-2,188	0,264	-1,757	1,333	75,27	-77,46	-2,19	0,26	-1,76	1,33
340	0,0027	105,938	-88,415	17,523	-1,474	15,952	-7,406	105,94	-88,42	17,52	-1,47	15,95	-7,41
350	0,0022	137,373	-95,334	42,038	-1,818	41,082	-9,099	137,37	-95,33	42,04	-1,82	41,08	-9,10
360	0,0021	293,323	-97,700	195,623	0,000	195,623	0,000	293,32	-97,70	195,62	0,00	195,62	0,00
370	0,0022	429,883	-95,334	334,549	14,464	326,942	72,410	429,88	-95,33	334,55	14,46	326,94	72,41
380	0,0027	299,167	-88,415	210,752	17,734	191,856	89,077	299,17	-88,42	210,75	17,73	191,86	89,08
390	0,0035	215,068	-77,459	137,609	16,613	110,505	83,819	215,07	-77,46	137,61	16,61	110,50	83,82
400	0,0045	152,268	-63,267	89,001	13,490	58,865	68,309	152,27	-63,27	89,00	13,49	58,86	68,31
410	0,0057	109,645	-46,847	62,798	11,052	30,979	55,982	109,65	-46,85	62,80	11,05	30,98	55,98
420	0,007	81,334	-29,310	52,024	10,092	16,020	50,822	81,33	-29,31	52,02	10,09	16,02	50,82
430	0,0085	62,359	-11,764	50,595	10,427	5,814	51,726	62,36	-11,76	50,60	10,43	5,81	51,73
440	0,01	49,389	4,789	54,178	11,538	-4,145	55,745	49,39	4,79	54,18	11,54	-4,15	55,74
450	0,0115	40,327	19,540	59,867	12,882	-15,458	59,867	40,33	19,54	59,87	12,88	-15,46	59,87
460	0,0129	33,871	31,934	65,805	14,014	-27,889	61,903	33,87	31,93	65,80	14,01	-27,89	61,90
470	0,0142	29,199	41,701	70,900	14,611	-40,351	60,763	29,20	41,70	70,90	14,61	-40,35	60,76
480	0,0154	25,784	48,850	74,634	14,478	-51,651	56,359	25,78	48,85	74,63	14,48	-51,65	56,36
490	0,0164	23,283	53,633	76,916	13,536	-60,938	49,274	23,28	53,63	76,92	13,54	-60,94	49,27
500	0,0172	21,466	56,481	77,947	11,814	-67,868	40,381	21,47	56,48	77,95	11,81	-67,87	40,38
510	0,0179	20,180	57,919	78,099	9,429	-72,555	30,528	20,18	57,92	78,10	9,43	-72,56	30,53
520	0,0184	19,325	58,478	77,803	6,547	-75,394	20,336	19,32	58,48	77,80	6,55	-75,39	20,34
530	0,0187	18,835	58,611	77,446	3,348	-76,854	10,134	18,83	58,61	77,45	3,35	-76,85	10,13

ПННІ НУК 131.61.23.25 ПЗ

/лсм

Продовження таблиці 2.5

540	0,0188	12,537	58,620	71,157	0,000	-71,157	0,000	12,54	58,62	71,16	0,00	-71,16	0,00
550	0,0187	4,842	58,611	63,454	-2,743	-62,968	-8,303	4,84	58,61	63,45	-2,74	-62,97	-8,30
560	0,0184	4,842	58,478	63,320	-5,328	-61,360	-16,550	4,84	58,48	63,32	-5,33	-61,36	-16,55
570	0,0179	4,842	57,919	62,761	-7,577	-58,306	-24,533	4,84	57,92	62,76	-7,58	-58,31	-24,53
580	0,0172	4,842	56,481	61,324	-9,295	-53,394	-31,770	4,84	56,48	61,32	-9,29	-53,39	-31,77
590	0,0164	4,842	53,633	58,476	-10,291	-46,328	-37,461	4,84	53,63	58,48	-10,29	-46,33	-37,46
600	0,0154	4,842	48,850	53,693	-10,416	-37,158	-40,546	4,84	48,85	53,69	-10,42	-37,16	-40,55
610	0,0142	4,842	41,701	46,543	-9,592	-26,489	-39,889	4,84	41,70	46,54	-9,59	-26,49	-39,89
620	0,0129	4,842	31,934	36,776	-7,832	-15,586	-34,596	4,84	31,93	36,78	-7,83	-15,59	-34,60
630	0,0115	4,842	19,540	24,383	-5,247	-6,296	-24,383	4,84	19,54	24,38	-5,25	-6,30	-24,38
640	0,01	4,842	4,789	9,632	-2,051	-0,737	-9,910	4,84	4,79	9,63	-2,05	-0,74	-9,91
650	0,0085	4,842	-11,764	-6,921	1,426	-0,795	7,076	4,84	-11,76	-6,92	1,43	-0,80	7,08
660	0,007	4,842	-29,310	-24,468	4,746	-7,535	23,903	4,84	-29,31	-24,47	4,75	-7,53	23,90
670	0,0057	4,842	-46,847	-42,005	7,392	-20,722	37,446	4,84	-46,85	-42,00	7,39	-20,72	37,45
680	0,0045	4,842	-63,267	-58,425	8,855	-38,642	44,842	4,84	-63,27	-58,42	8,86	-38,64	44,84
690	0,0035	4,842	-77,459	-72,616	8,767	-58,313	44,231	4,84	-77,46	-72,62	8,77	-58,31	44,23
700	0,0027	4,842	-88,415	-83,573	7,032	-76,080	35,323	4,84	-88,42	-83,57	7,03	-76,08	35,32
710	0,0022	4,842	-95,334	-90,492	3,912	-88,434	19,586	4,84	-95,33	-90,49	3,91	-88,43	19,59
720	0,0021	4,842	-97,700	-92,858	0,000	-92,858	0,000	4,84	-97,70	-92,86	0,00	-92,86	0,00

2.6 Аналіз ефективних показників проектного двигуна та двигуна-прототипу

При оцінюванні ефективних показників на основі теплового розрахунку двигуна середній ефективний тиск визначався в залежності від середнього індикаторного тиску.

Таблиця 2.6

Основні параметри газового двигуна – прототипу та проектного

Найменування параметра	Значення	
Тип двигуна	6ГЧН25/34 (прототип)	6ГЧН25/34 (проектований)
Номінальна ефективна потужність, P_e , кВт	530	600
Номінальна частота обертання колінчастого валу, n , хв. ⁻¹	600	750
Ступінь стиску, ϵ	10,5	10,5
Коефіцієнт надлишку повітря, α	1,75	1,75
Тиск наддуву, p_b , МПа	0,170	0,190
Нижча теплота згоряння палива Q_H , кДж/м ³	33500	33500
Максимальна температура циклу, T_z , К	1750	1778
Максимальний тиск згоряння, p_{max} , МПа	9,0	9,5
Середній індикаторний тиск, p_i , МПа	1,15	1,09
Індикаторний ККД циклу, η_i	0,43	0,44
Питома індикаторна витрата палива, b_i , м ³ /(кВт·год)	0,26	0,25
Механічний ККД двигуна, η_m	0,86	0,88
Ефективний ККД циклу, η_i	0,37	0,384
Середній ефективний тиск, p_{me} , МПа	0,90	0,96
Питома витрата газового палива, b_e , кВт/год	0,30	0,28

За результатами розрахунків проектного двигуна необхідно зробити наступні висновки. Збільшення потужності проектного двигуна 6ГЧН25/34 до 600 кВт стало можливим завдяки підвищенню частоти обертання колінчастого валу з 600 хв^{-1} до 750 хв^{-1} , а також застосуванню турбокомпресора з тиском наддуву $p_k = 0,19 \text{ МПа}$. Зменшення питомої витрати газового палива досягнуто за рахунок зменшення механічних витрат в двигуні завдяки застосуванню поршня з меншим числом компресійних кілець.

					ПННІ НУК 131.61.23.25 ПЗ	Лист
						45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

3.1 Призначення, опис та аналіз існуючих систем та механізмів.

Поршень є однією із найбільш відповідальних та напружених деталей двигунів як чотиритактних так, особливо, і двотактних. Поршень приймає на себе навантаження від сил тиску газів та сил інерції, а також теплові навантаження в результаті контакту днища з гарячими газами, головним чином в процесі згоряння та розширення. Крім того, корпус поршня додатково нагрівається від тертя його бокової поверхні по стінці циліндру.

В результаті дії гарячих газів днище поршня сильно нагрівається, внаслідок чого знижується його міцність та погіршуються умови змащування, а в карбюраторному двигуні підвищена температура днища сприяє виникненню детонації. Поршень передає теплоту стінкам циліндру головним чином поршневі кільця та юбку, через внутрішню поверхню днища і стінок – картерним газам та маслу, через поршневий палець – шатуну.

Внаслідок багатьох функцій, що виконує поршень, до матеріалу останнього пред'являються серйозні вимоги. Матеріалами для виготовлення поршнів служить чавун, сталь та легкі сплави. Поширеним матеріалом для поршневих двигунів внутрішнього згоряння усіх типів є чавун (як сірий, так і ковкий). Найбільш часто застосовують чавуни марок СЧ25, СЧ28, СЧ32. В напружених конструкціях двигунів для підвищення механічних якостей та теплостійкості застосовують леговані та зверх міцні чавуни: леговані присадками ванадію, титана, міді, хрому, наприклад, чавун марки ВЧ50-2.

Чавун та сталь порівняно із легкими сплавами характеризуються більш високою міцністю та зносостійкістю, а також малим коефіцієнтом лінійного розширення.

Із легких сплавів застосовують переважно алюмінієві (АЛ1, АЛ10В, АЛ19, В300 та інші), що відрізняються різноманітним хімічним складом. Найбільше поширення знайшли мідно алюмінієві та кремній алюмінієві сплави. Останні

					ПННІ НУК 131.61.23.25 ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

мають кращі ливарні властивості та відносно низький коефіцієнт лінійного розширення. Крім того, при застосуванні цих сплавів збільшується зносостійкість поршневих канавок (при підвищеній температурі). Поршні із цих сплавів виготовляють методами лиття як в землю, так і в кокіль; останній спосіб дозволяє достатньо точно видержати масу заготовки, зменшити припуск для наступної механічної обробки та забезпечити порівняно низьку собівартість виготовлення.

Деформуючі алюмінієві сплави АК2, АК4, АК4-1, Д20 дають можливість отримати заготовки поршня шляхом кування та штамповки. Сплави АК4-1 і Д20 мають переваги при підвищених температурах (вище 150 °С). Кращі властивості при температурах вище 300°С мають сплави Д20.

Перевагами поршнів, виготовлених із легких сплавів, в порівнянні з поршнями, виготовленими із чавунів та сталей, є менша маса та в 3...3,5 рази більш висока теплопровідність. При відносно низькій температурі алюмінієвих поршнів (250...350°С замість 400...450°С чавунних поршнів) підвищується коефіцієнт наповнення, а також появляється можливість підвищення ступеню стиску у карбюраторних двигунах без небезпеки виникнення детонації. Крім того, поршні із легких сплавів відрізняються меншим утворенням нагару при роботі та меншим тертям. Маса поршня із алюмінієвого сплаву при інших рівних умовах менше маси чавунного поршня на 30...50 %. В результаті більш низької температури, менших сил інерції та меншого тертя при заміні чавунних поршнів поршнями із легких сплавів потужність двигуна підвищується на 10...20% та зменшується витрата палива та масла. Проте при великих зазорах (в непрогрітому двигуні та при малих загрузках) поміж корпусом поршня та стінками циліндрів, якщо поршні виготовлені із легких сплавів, спостерігається стук, що приводить до підвищеного зношування двигунів, які працюють при змінних загрузочних режимах. Крім того, у цих поршнів гірші механічні властивості та нижча теплостійкість. До цього треба віднести високу вартість поршнів із легких сплавів та швидку розробку гнізд для поршневого пальця в бобишках і канавок кілець.

					ПННІ НУК 131.61.23.25 ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

3.2 Вибір конструкції проектованого поршня

3.2.1 Конструктивна форма днища поршня

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 рис. 3.1 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. 3.1,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. 3.1,б утворює сприятливу форму камери згоряння, що наближається до шарової, при безпосередньому впорскуванні. Ці днища застосовують головним чином в чотиритактних двигунах як із внутрішнім,

					ПННІ НУК 131.61.23.25 ПЗ	Лист
						48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

так із зовнішнім сумішоутворенням та в деяких конструкціях двотактних двигунів.

Днище поршня, що показане на рис. 3.1,в, утворює камеру згоряння, близьку по формі до факелу палива, що розпилюється. Такі днища застосовують при 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. 3.1,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.

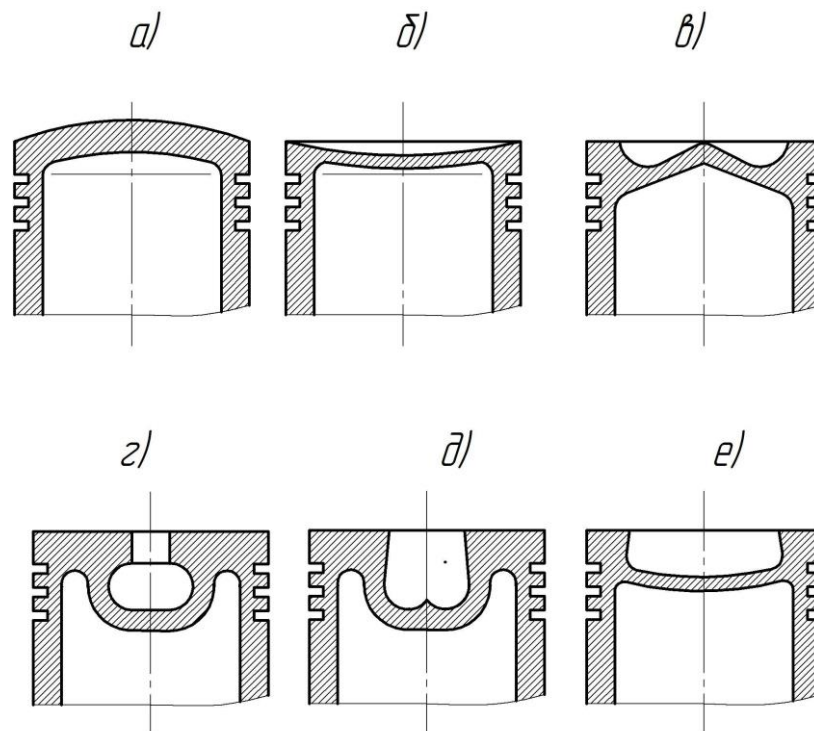


Рисунок 4.1 – Форми днищ поршня

Днище, що виконане по схемі рис. 3.1,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 вихору. Але при цьому маємо нерівномірний розподіл температур в голівці поршня.

Днище, показане на рис. 3.1,е, завдяки більш простій формі відрізняється підвищеною надійністю, ніж днища показані на рис. 3.1,г,д. Таку конструкцію застосовують головним чином в чотиритактних двигунах із запалюванням від стиску.

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.

Для зменшення температурних напружень раціонально застосовувати днища без ребр. 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

					ПННІ НУК 131.61.23.25 ПЗ	Лист
						50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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 маслознімних 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 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. 3.1, а-г, виконують у вигляді циліндричних або конічних ступенів. В деяких випадках,

					ПННІ НУК 131.61.23.25 ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

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 сталєхних 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 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. 3.1.2). В тому ж напрямку деформацію визиває і дія сили F_N (рис. 3.2). В результаті цього поміж циліндром та частиною поршня, розташованою біля пальця, може виникнути натяг, що приведе до заїдання поршня.

					ПННІ НУК 131.61.23.25 ПЗ	Лист
						52
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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.

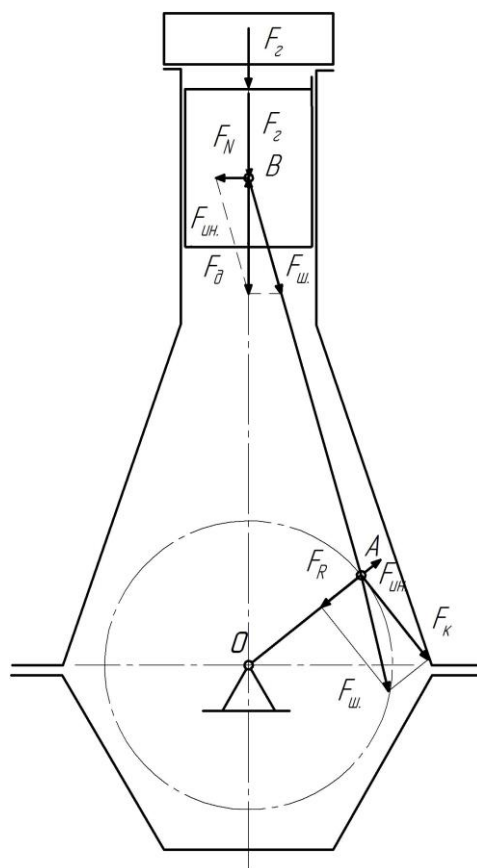


Рисунок 3.2 – Сили, що діють в шатунно-поршневій групі

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 маслоснімних 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

					ПННІ НУК 131.61.23.25 ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

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 поміж вістями 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.

3.3 Опис конструкції проектного поршня

На двигуні-прототипі 6ЧН25/34 встановлено суцільний поршень, виготовлений з чавуну (рис. 3.3). На краях днища поршня з двох сторін виконані заглиблення для попередження дотику поршня до клапанів при їх відкриванні. В заглибленнях виконано два різьбових отвори, що призначені для загвинчування в них рим-болтів, які використовуються для виймання поршня з шатуном.

Поршень і шатун з'єднані сталевим порожнистим поршневим пальцем 9. Зовнішня поверхня пальці цементована та загартована. Від осевого переміщення палець утримується пружинними стопорними кільцями 8, що встановлені у кільцеві канавки внутрішніх бобишок поршня. На кінцях поршневого пальця встановлені заглушки 11, які мають на зовнішньому діаметрі кільцеву канавку для встановлення ущільнюючих кілець 12. Заглушки утримуються пружинними стопорними кільцями 10. Одна з заглушок має в центрі різьбовий отвір для знімання їх з поршневого пальця.

Поршень такий, що охолоджується. Масло з шатунної шийки через масляні

					ПННІ НУК 131.61.23.25 ПЗ	Лист
						54
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

канали А, Б, В, і Г поступає до поршневого пальця. Через отвори в середній частині пальця масло поступає во внутрішню порожнину пальця, а потім через отвори, що розташовані на кінцях поршневого пальця, в кільцеву канавку і отвори, що розташовані в бобишках поршня – в порожнину поршня, що охолоджується. Залишки масла через отвір кришки 15 поршня зливаються в картер.

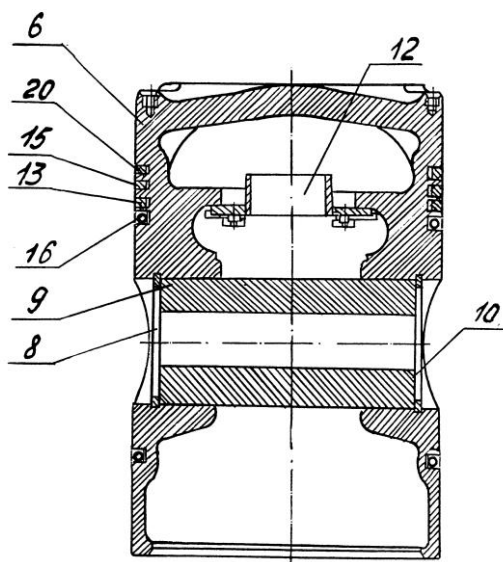


Рисунок 3.3 – Поршень двигуна-прототипу

6 – поршень; 8, 10 - стопорне кільце; 9 - палець; 12 - діафрагма; 13, 15, 20 – кільце компресійне; 16 - кільце маслоснімне.

Поршень має шість канавок, в яких розташовані поршневі кільця: в чотирьох верхніх – по одному компресійному, в двох нижніх – по два маслоснімних 16. Компресійні кільця мають в перерізі прямокутну форму, замок – косий. Верхнє компресійне кільце має на бічній поверхні зносостійке покриття. Маслоснімні кільця мають гострі кромки, які при встановленні в канавки повинні бути напрямлені донизу. Цими кромками при русі поршня донизу з дзеркала циліндра знімається масло, яке через отвори в поршні стікає в картер.

Поршневі кільця не застерігають від повороту в канавках. При встановленні поршня в гільзу циліндра замки поршневих кілець повинні бути зміщені одне відносно одного на кут 90° і розташовані по гвинтовій лінії. Різниця в масі поршнів на одному двигуні не більша за 1,0 kg.

					ПННІ НУК 131.61.23.25 ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

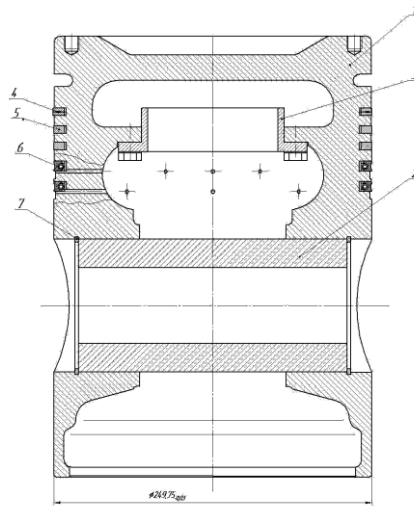


Рисунок 3.4 – Запроектований поршень

Для оптимізації процесу згорання форму днища поршня вибираємо камеру згорання чашоподібної 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.

3.4 Розрахунок запроектованого поршня на міцність

Розрахунки виконані за допомогою програми Microsoft Excel

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

Вихідні дані для розрахунку

1.Потужність двигуна

$$P = 600 \text{ кВт}$$

					ПННІ НУК 131.61.23.25 ПЗ	Лист
						56
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.Число циліндрів двигуна	$i = 6$	
3.Питома ефективна витрата палива: -природного газу	$q_e = 0,225 \frac{м^3}{(кВт \cdot год)}$	
4.Нижча теплота згоряння газу	$Q_H = 34500 \text{ кДж / кг}$	
5.Доля загальної кількості теплоти, відведеної через голвку поршня	$a = 0,06$	
6.Максимальний тиск згоряння	$P_{max} = 10,684$	МПа
7.Діаметр поршня	$D = 0,25$	м
8.Внутрішній діаметр канавки під компресійне кільце	$D_K = 0,23$	м
9.Внутрішній діаметр поперечного перерізу головки поршня	$D_{BH} = 0,2$	м
9.Робоча висота юбки поршня	$L_{II} = 0,24$	м
10.Діаметр поршневого пальця	$d = 0,105$	м
11.Робоча довжина гнізд під палець в бобишках поршня	$l_p = 0,095$	м
12.Діаметр зовнішній бобишки поршня	$D_B = 0,152$	м
13.Товщина днища поршня	$\delta = 0,021$	м
14.Радіус защемлення днища поршня	$r = 0,08$	м
15.Коефіцієнт, що враховує пружність защемлення	$\xi = 1$	
16.Максимальна нормальна сила, що діє на поршень, знаходиться із динамічного розрахунку двигуна	$F_N = 31780$	Н
17.Матеріал поршня	Чавун	
18.Модуль пружності для матеріалу поршня	$E = 100000$	МПа
Алюміній - $0,72 \cdot 10^5$ Чавун - $1 \cdot 10^5$ Сталь - $2,1 \cdot 10^5$ Мпа		
19.Коефіцієнт Пуасона для матеріалу поршня	$\mu = 0,3$	
Алюміній - $0,26$ Чавун - $0,3$ Сталь - $0,3$		
20.Коефіцієнт лінійного розширення матеріалу поршня	$\alpha = 1,1E-05$	$С^{-1}$
Алюміній - $1,9 \cdot 10^{-5}$ Чавун - $1,1 \cdot 10^{-5}$ Сталь - $1,4 \cdot 10^{-5}$		

Розрахунок

Розрахунок поршня виконуємо в його небезпечних перерізах від сили тиску

Газів					ПННІ НУК 131.61.23.25 ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

1.Площа днища поршня $A_{\pi} = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$ $F_{\pi} = 0,049 \text{ м}^2$

2.Максимальна сила тиску газів $F_r = A_{\pi} \cdot P_{\max}$ $F_r = 524,18 \text{ кН}$

3.Площа поперечного перерізу поршня по канавці компресійного кільця

$A_{\min} = \frac{\pi \cdot (D_K^2 - D_{BH}^2)}{4}$ $F_{\min} = 0,010 \text{ м}^2$

4.Напруження стиску в перерізі поршня по канавці компресійного кільця $\sigma_{ст} = \frac{F_r}{A_{\min}}$ $51,76 \text{ МПа}$

Допустимі напруження стиску для поршнів із:

чавуну 60МПа алюмінію 40МПа сталі 60МПа
Умова міцності виконується

5.Питомий тиск поршня на втулку робочого циліндру $K = \frac{F_N}{D \cdot L_{\pi}}$ $K = 0,49 \text{ МПа}$

Допустимий питомий тиск для поршнів із чавуну 0,2...0,5 МПа алюмінію 0,5...1,0 МПа
Умова міцності виконується

6.Питомий тиск в бобишках поршня

$q = \frac{F_r}{2 \cdot d \cdot l_p}$ $q = 45,58 \text{ МПа}$

Допустимий питомий тиск для поршнів із чавуну 35...45МПа алюмінію 25...30МПа
Умова міцності виконується

7.Перевірка бобишок поршня на зріз

Площа зрізу бобишків поршня $A = \frac{2 \cdot \pi \cdot (D_o^2 - d^2)}{4}$ $A = 0,01896 \text{ м}^2$

Напруження зрізу в бобишках поршня

$\tau = \frac{F_r}{A}$ $\tau = 27,64 \text{ МПа}$

Умова міцності виконується

Розрахунок днища поршня

Допустимі напруження зрізу для поршнів із чавуну 35МПа алюмінію 25МПа

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

1.Найбільші нормальні напруження по контуру закріплення:

					ПННІ НУК 131.61.23.25 ПЗ	Лист
						58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- в радіальному напрямку

$$\sigma_x = \frac{3 \cdot \xi \cdot r^2 \cdot p_{\max}}{4 \cdot \delta^2}, \text{МПа}$$

$$\sigma_x = 116,29 \quad \text{МПа}$$

- в тангенціальному напрямку

$$\sigma_y = \frac{3 \cdot \mu \cdot r^2 \cdot p_{\max}}{4 \cdot \delta^2}, \text{МПа}$$

$$\sigma_y = 34,89 \quad \text{МПа}$$

2. Напруження в центрі днища поршня

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

$$\sigma_x = 75,59 \quad \text{МПа}$$

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

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

$$q = 175,80 \quad \text{кВт/м}^2$$

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

$$\Delta t = \frac{q \cdot \delta}{\lambda}, ^\circ \text{C}$$

$$\Delta t = 70,6 \quad ^\circ \text{C}$$

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

При жорсткому защемленні днища по контуру радіальні σ_r та тангенціальні напруження σ_t від вісьового перепаду температур на периферії та в центрі днища знаходяться по формулі

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

$$\sigma_T = 55,46 \quad \text{МПа}$$

Сумарні механічні і термічні напруження на периферії

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

$$\sigma_\Sigma = 171,75 \quad \text{МПа}$$

Допустимі напруження для днищ поршнів із чавуну

$$[\sigma] = 150 \dots 220 \text{ МПа}$$

Умова міцності виконується

					ПННІ НУК 131.61.23.25 ПЗ	Лист
						59
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.5 Визначення типу виробництва

Згідно ГОСТ 3.1109-82 технологічний процес — частина виробничого процесу, з'єднуюча цілеспрямовані дії по зміні стану предмету.

Технологічна операція — це закінчена частина процесу, виконувана на одному робочому місці. Під переходом розуміється частина робіт, виконуваних за одну установку виробу.

Безпосередньому виконанню технологічних операцій передують етапи технічної і технологічної підготовки виробництва, у складі яких є стадія підготовки технологічної документації — проектування і розробка технологічних процесів з дотриманням правил на певних видах документів.

Види технологічної документації.

Всі види техпроцесів описуються на певних документах. Залежно від призначення технологічні документи підрозділяються на основні і допоміжні.

До основних документів відносяться документи, повністю і однозначно визначають технологічний процес виготовлення виробу і утворюють різну інформацію, необхідну для вирішення інженерно-технічних, планово-економічних і організаційних задач.

До допоміжних документів відносяться документи, вживані при розробці, впровадженні і функціонуванні технологічних процесів (наприклад, карти замовлень на проектування оснащення, акт упровадження техпроцесу і ін.).

Основні документи підрозділяються на документи загального і спеціального призначення (ГОСТ 3.1103-81).

Документи загального призначення:

— титульний лист (ТЛ) — призначений для оформлення комплектів технологічної документації і є його першим листом;

— карта ескізів (КЕ) — графічний документ, що містить ескізи, схеми, таблиці, призначені для виконання технологічних операцій і переходів, включаючи контроль;

— технічна інструкція (ТІ) — документ, призначений для опису

					ПННІ НУК 131.61.23.25 ПЗ	Лист
						60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

технологічних процесів, методів і прийомів, що повторюються при виготовленні (ремонті) виробів. Застосовується з метою скорочення об'єму технологічної документації.

Документів спеціального призначення значно більше. Деякі документи використовуються при розробці техпроцесів в дипломних проектах:

- маршрутна карта (МК) — документ, призначений для маршрутного, або маршрутно-операційного опису технологічного процесу, або вказівки повного складу технічних операцій при певному описі виготовлення, включаючи контроль, переміщення по всіх операціях в технологічній послідовності з вказівкою даних про устаткування, оснащення, матеріальні і трудові витрати;

- карта технологічного процесу (КТП) - документ, призначений для операційного опису технологічного процесу в технологічній послідовності по всіх операціях одного виду обробки, збірки з вказівкою переходів, технологічних режимів і даних про засоби технологічного оснащення, а також матеріальних і трудових витратах;

- операційна карта (ОК) - документ, призначений для опису технологічної операції з вказівкою послідовності виконання переходів, даних про засоби технологічного оснащення, режимів і трудових витратах. Застосовується при розробці одиничних технологічних процесів;

- карта комплектації (КК) — документ, призначений для вказівки даних про деталі, складальні одиниці і матеріали, що входять в комплект збираного виробу. Застосовується при розробці одиничних технологічних процесів збірки.

У кваліфікаційній роботі розроблено технологічний процес складання поршня, що наведено в додатках.

Прогресивний технологічний процес складання є докладним, досконально пропрацьовано кожен операцію, з урахуванням послідовності складання, що дає можливість проведення нормування технологічного процесу, враховуючи кожен деталь і виконані при її укладанні рухи, дії, її розміри, масу, відстань від складу заготовок і таке інше. Складання є завершальною частиною виготовлення виробу і

					ПННІ НУК 131.61.23.25 ПЗ	Лист
						61
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

виконується після механічної і других видів обробки. Трудомісткість складання становить 10...15% від трудомісткості механічної обробки в умовах масового виробництва, 25...40% в серійному виробництві, 30...60% в умовах одиничного і малосерійного.

В процесі вузлового і загального складання перевіряється правильність всіх сполучень і взаємного розміщення окремих деталей. Технологічний процес складання, як і процес механічної обробки, складається із окремих операцій з урахуванням всіх найменших подробиць.

Технічне нормування робіт в машинобудуванні знаходиться в невід'ємній складовій з розробкою технологічного процесу. Технічна норма часу є на виробництві важливим фактором підвищення продуктивності праці, вона має бути передовою, прогресивною, стимулюючи тим самим використання високопродуктивних методів виробництва. Під прогресивною технічною нормою часу в машинобудуванні треба розуміти час, необхідний для виконання даної операції, при визначених організаційно-технічних умовах, з врахуванням найбільш ефективного використання умов виробництва, на умовах найбільш ефективного використання передових методів складання, передової техніки і обладнання, технологічного оснащення, раціональної організації праці з використанням досвіду передовиків виробництва.

Для розрахунку технічної норми часу необхідно роздробити робочий час на складові частини і норму часу на елементи, кожний із яких може бути вирахований дуже точно. Незалежно від розглянутої класифікації елементів технологічного процесу, всі роботи, що виконуються при будь-якій виробничій операції в машинобудівному виробництві розподіляються по типам: основна робота, допоміжна, підготовчо – заключна.

Кожен технологічний процес, операція, підхід, перехід мають бути відпрацьовані досконало з найменшими витратами праці і енергії, що здешевлює виробництво, підвищує його конкурентоспроможність і ефективність.

Нормування технологічного процесу складання поршня

					ПННІ НУК 131.61.23.25 ПЗ	Лист
						62
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

№ операції	Зміст роботи по переходам	Чинники, які впливають на визначення норми часу	№ карти, сторінка	Норма часу, хв
005	Підготовча 1.Получити деталі відповідно комплектовочній карті, доставити на робоче місце. Оглянути деталі на відсутність дефектів. 2. Застопорити вал колінчастий і установити на підставку 3.Протерти шийки вала, галтелі і отвори ганчір'ям, змоченим дизпаливом 4.Оглянути шийки, галтелі, за полірувати риски, задирки та інші дефекти транспортування 5.Продути отвори стислим повітрям Разом на операцію	Маса деталей до 70 кг, крупних деталей $p = 7$, дрібних до 100 штук Строповка захватами, маса до 1300кг, l до 10м Ø шийки до 250мм, число шийок – 13 Ø шийки до 250мм, число шийок – 13 Деталь складної форми, з виступами	к.171, с.288 к.172, с.289 к.1, с.18 к.4, с.20 к.8, с.24 к.38, с.61 к.9, с.25	3,92 6,6 0,23 1,3 $0,53 \times 13 = 6,9$ $2,6 \times 13 = 33,8$ 5,0 57,8 хв.
010	Складальна 1.Зібрати шестерню демпфіруючу поз.1 з шестернею поз.6, закріпити болтами поз.12 2.Підігнати шпонку поз.11 по шпоночному пазу вала і запресувати 3.Перемістити диск поз.7, шестерню демпфіруючу поз.1 до ванни, нагріти, перемістити до місця складання, посадити на шийку вала до упору 4.Встановити на торець валу колінчастого диск поз.10, закріпити 4-ма болтами поз.14 5.Запресувати шпонку в шпоночний паз колінчастого валу поз.2. Нагріти в ванні шестерню поз.8 Посадити її на шийку вала до упору. 6.Зібрати 12 прижимів поз.9 з шестернею поз.8, закріпити кожний болтом поз.13 з шайбою поз.15 Разом на операцію	Ø > 250мм, маса до 100 кг, 8 болтів М8х45 Шпонка 20х12х70 Маса деталей до 100 кг, Ø посадки до 250 мм Болт М8х30, маса деталі до 10 кг Шпонка 20х12х50 Ø запресовки до 250 мм, l = 50мм Болт М10х50, 12 шт.	к.69 с.95 к.96 с.133 к.105 с.151 к.102 с.184 к.126 с.189 к.88 с.123 к.105 с.151 к.102 с.184 к.126 с.189	2,5 $1,2 \times 8 = 9,6$ 2,0 1,0 8,5 $2,4 \times 4 = 9,6$ 4,0 2,0 8,5 $1,6 \times 12 = 19,2$ 66,9 хв.
015	Складальна противаг 1.Змастити різьбу болтів поз.4 машинним маслом 2.Перевірити прилягання контактних	Ø болта до 20 мм, l до 100мм Площа прилягання	к.12,с.30 к.111, с.163	$0,15 \times 24 = 3,6$ $2,5 \times 12 = 30$
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ПННІ НУК 131.61.23.25 ПЗ

Лист

63

	поверхнею протизаг 3.Встановити протизаги поз.3 на щоки 4.Затягнути болти поз.4 в два прийоми з моментом 200 Нм 5.Відкріпити болти поз.4 6.Остаточно затягнути болти поз.4 в два прийоми на 60° кожний після попереднього їх обжиму моментом 180 Нм 7.Контролювати прилягання протизаг до щоки колінчастого валу щупом 8.Встановити штифти поз.5 Разом на операцію	до 80см ² Маса до 15 кг Ø болта до 20 мм, 1 до 100мм Зазор 0,05 мм, кількість точок 2 Ø штифта до 15 мм, 1 до 50мм	к.126, с.189 к.126, с.186 к.16, с.37 к.86, с.120	3,6x12 = = 43,2 2,3x24 = = 55,2 1,5x24 = = 36 2,6x24 = = 62,4 0,24x12 = = 2,9 1,5x24 = 36 269,2 хв.
020	Балансировочна 1.Встановити краном колінчастий вал з протизагами на пристосування 2.Збалансувати деталь і установити масу дисбалансу 3.Усунути дисбаланс колінчастого валу з протизагами за рахунок висвердлювання отворів в протизагах поз.3 4.Збалансувати колінчастий вал остаточно Разом на операцію	Маса до 1500 кг Маса дисбалансу до 0,5 кг	к.1, с.18 к.148, с.259 к.148, с.256 к.148, с.259	3,5 44,5 4,5 35,5 88 хв.

Розрахунок штучно-калькуляційного часу виконуємо по формулі

$$T_{шт.к} = T_{шт} + T_{п.з}/n, \text{ де}$$

$T_{шт}$ – штучний час на операцію, хв.

$T_{п.з}$ – підготовчо – заключний час;

$n = 1$ – партія виробів, що складаються;

Визначаємо штучний час

$$T_{шт} = \Sigma T_0 + T_{обс.} + T_{відп.} + T_{ос.п.}, \text{ де}$$

ΣT_0 - сумарний оперативний час по всім операціям технологічного процесу

$$\Sigma T_0 = T_{0\ 005} + T_{0\ 010} + T_{0\ 015} + T_{0\ 020} =$$

$$= 57,8 + 66,9 + 269,2 + 88,0 = 481,9 \text{ хв.}$$

					ПННІ НУК 131.61.23.25 ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

$T_{\text{обс.}}$, $T_{\text{відп.}}$, $T_{\text{ос.п}}$ - відповідно час на обслуговування робочого місця, на відпочинок та особисті потреби приймаються в розмірі 11% від оперативного часу

$$\text{Тоді } T_{\text{шт}} = T_{\text{оп.}} \cdot (1 + 11/100) = 481,9 \cdot 1,11 = 534,9 \text{ хв.}$$

До підготовчо – заключного часу входить час, що витрачається на отримання наряду, креслень необхідних для роботи, технічної документації (технологічного процесу), ознайомлення з роботою, отримання та здача інструменту, здача роботи майстру.

$T_{\text{п.з.}}$ приймається рівним 3,5% від оперативного часу

$$T_{\text{п.з}} = 534,9 \cdot 3,5/100 = 18,7 \text{ хв}$$

Кінцевий штучно – калькуляційний час

$$T_{\text{шт.к}} = 534,9 + 18,7/1 = 553,6 \text{ хв.}$$

					ПННІ НУК 131.61.23.25 ПЗ	Лист
						65
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

4.1 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів створених двигуном

Охорона праці – система законодавчих актів, соціально-економічних, організаційних, технічних, гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів і засобів, що забезпечують безпеку, збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці. Охорона праці включає техніку безпеки і виробничу санітарію.

При проектуванні двигуна в останній час дуже велику увагу приділяють зниженню шкідливої дії двигуна на людей і навколишнє середовище. Джерелами викидів шкідливих речовин в двигуні є відпрацьовані і картерні гази, а також пари палива. Найбільше шкідливих речовин виділяється з відпрацьованими газами(CO , CH , NO).

При роботі двигуна на номінальній потужності помітна незначна концентрація CO , CO_2 та C_nH_m . Виняток становлять режими малих навантажень, коли зниження швидкості згоряння збіднілої суміші приводить до неповного згоряння і збільшення викиду неспаленого метану. До недоліків застосування природного газу як палива для дизелів треба віднести також досить високий, як і при роботі на дизельному пальному, викид NO_x на максимальних навантаженнях.

Крім того небезпеку для людини створюють нагріті деталі двигуна, а також деталі, що рухаються і обертаються.

Основними напрямками по зниженню шкідливого впливу двигуна є:

- використання нейтралізаторів шкідливих речовин;
- використання газоподібного палива;
- використання закритих систем вентиляції картера;
- ізоляція і екранування нагрітих деталей;
- закриття об'ємів, де рухаються і обертаються деталі, спеціальними кожухами.

					ПННІ НУК 131.61.23.25 ПЗ	Лист
						66
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.2 Заходи до зниження рівня шуму та вібрації проектованого двигуна.

Двигуни внутрішнього згоряння є одним з джерел шуму, що негативно впливає на людей. Шум - це комплекс звуків що змінюються за частотою та рівнем. Як відомо звук має хвильову природу в будь - якому середовищі і сприймається органами слуху людини в результаті дії на них звукових хвиль. Двигуни випромінюють хвилі в основному з частотою від 20 до 8000 Гц.

Основними характеристиками звуку є тиск і сила звуку. Тиск звуку являє собою різницю між митним значенням тиску хвилі і барометричним тиском. Тиск і сила звуку змінюються в широких межах, тому для вимірювання шуму використовують логарифмічну шкалу і логарифмічні одиниці - децибели (дБ). Рівнем шуму називають дванадцятикратний логарифм відношення тиску звуку до його порогового значення, або десятикратний логарифм відношення сили звуку до її порогового значення. Шум двигунів внутрішнього згоряння має двояке походження. З одного боку, це шум механічного походження, що виникає внаслідок ударів в рухомих з'єднаннях кривошипно-шатунного та газорозподільного механізмів і паливної апаратури, а також різкої зміни дії газових сил на деталі двигуна при виконанні робочого циклу. З іншого боку, це шуми газодінамічного (гідравлічного) походження, що є наслідком збурень, які виникають в процесі руху газоподібних і рідких середовищ в агрегатах двигуна і при згорянні паливоповітряної суміші.

Рівень шуму двигунів внутрішнього згоряння на номінальному режимі сягає 110 ... 120дБ. Він у значній мірі залежить від таких експлуатаційних факторів, як навантаження та частота обертання. Із зменшенням навантаження рівень шуму дизелів зменшується - на 1..3дБ. Зменшення частоти обертання зменшує рівень шуму на 10... 15дБ.

При експлуатації двигуна рівні звукового тиску згідно ГОСТ 12.1.003 - 83 не повинні перевищувати значення, які приведені в таблиці 4.1.

					ПННІ НУК 131.61.23.25 ПЗ	Лист
						67
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 4.1 Рівні звукового тиску

Середньгеометричні частоти октавних полос, Гц	3,15	63	125	250	500	1000	2000
Рівні звукового тиску, дБ	109	99	92	86	83	80	76

Рівні зовнішнього шуму проектованого двигуна приблизно визначаються по формулі:

$$L = \left[54 + 10 \lg(n_H \times P_e^{0,55}) + 30 \lg\left(\frac{n}{n_H}\right) \right] = \left[54 + 10 \lg(750 \times 600^{0,55}) + 30 \lg\left(\frac{750}{750}\right) \right] = 96,3 \text{ дБ}$$

де $n_H = 750 \text{ хв}^{-1}$ - номінальна частота обертання колінчастого валу, хв^{-1} ;

$P_e = 600 \text{ кВт}$ - номінальна потужність двигуна.

Для зменшення рівня шуму двигуна застосовують його капотування, використовують різні конструктивні засоби, обладнують двигуни глушниками.

Капотування двигунів спеціальними звукопоглинаючими прокладками значно зменшує вплив шуму двигуна.

До конструктивних засобів, що направлені на зменшення шуму двигуна, відносяться: зменшення зазорів в рухомих з'єднаннях, кулачка розподільного валу з безударним профілем, використання шумопоглинаючих накладок, збільшення товщини стінок циліндра в тій частині, де має місце різка зміна тиску газів, застосування конструкції камер згоряння, забезпечуючих плавний ріст тиску газів.

Для зниження шуму впуску застосовують спеціальні конструкції повітроочисників, в яких використовуються шумоізолюючі прокладки, резонансні розширюючі камери глушіння, м'які гофровані шланги. Це дозволяє зменшити рівень шуму на 30...35 дБ.

Для глушіння шуму випуску застосовують глушники різних конструкцій. Конструкцію глушника та його розміри вибирають і розраховують для конкретної моделі двигуна. Найбільш розповсюджені

					ПННІ НУК 131.61.23.25 ПЗ	Лист
						68
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

глушники, в яких використовуються до глушіння розширювальні резонансні камери, спеціальні перфоровані труби, сітки, звукопоглинаючі матеріали.

4.3 Заходи по зниженню рівня вібрації проєктованого двигуна.

Вібрація виникає через динамічну невідновженість мас кривошипно-шатунного механізму ДВЗ. Локальна вібрація викликає спазми судин і погіршує кровообіг.

Загальна вібрація з частотою 0,7 Гц викликає морську хворобу, з частотою 4-30 Гц може викликати ушкодження плечового пояса, більшості внутрішніх органів через резонансні явища.

При експлуатації двигуна рівень вібрації згідно ГОСТ 12.1.012-90 не повинен перевищувати значення, які приведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 Санітарні норми вібраційного навантаження

Середньгеометричні частоти октавних полос, Гц	63	20,0	31,5	40	50	63	80
Рівні вібрації по прискоренню, дБ	95	103	107	109	111	113	115

Рівень вібрації приблизно визначається з формули:

$$L_v = \left\{ 44 + 10 \lg \left[\frac{n_H \times P_e^{0,55} \times \left(1 + \frac{P_e}{M} \right)}{1 + \left(\frac{f}{1500} \right)^3 \times \frac{M}{P_e}} \right] + 30 \lg \left(\frac{n}{n_H} \right) \right\}, \text{дБ}$$

де $M = 5600$ кг – маса двигуна;

$f = 104,67 \text{ c}^{-1}$ – частота обертання колінчастого валу.

$$L_v = \left\{ 44 + 10 \lg \left[\frac{750 \times 600^{0,55} \times \left(1 + \frac{600}{5600} \right)}{1 + \left(\frac{104,67}{1500} \right)^3 \times \frac{5600}{600}} \right] + 30 \lg \left(\frac{750}{750} \right) \right\} = 82,25 \text{дБ}$$

Для зниження рівня вібрацій виконують такі конструктивні та технологічні заходи:

					ПННІ НУК 131.61.23.25 ПЗ	Лист
						69
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- врівноваженням та балансуванням обертаючихся частин;
- усуненням дефектів розштанності окремих частин;
- використанням динамічних гасників вібрацій;
- пружною підвіскою та амортизацією (включанням проміжних засобів).

Основні міри боротьби з вібрацією:

- покращення конструкцій двигунів та технологічних процесів (заміна кулачкових та кривошипних механізмів рівномірно обертаючимися гідроприво- дами);
- відбудова від режиму резонанса (змінення маси або жорсткості системи);
- віброізоляція за допомогою пристрою амортизаторів, тобто введення в систему пружного віброгасника.

4.4 Техніка безпеки та протипожежний захист

Техніка безпеки та протипожежний захист на території стаціонарної електростанції.

Заходи з техніки безпеки на території стаціонарної електростанції можливо розділити на організаційні та технічні. До організаційних заходів відносяться інструктаж з техніки безпеки безпосередньо на робочому місці, обладнання електростанції плакатами та інструкціями.

Безпосередню відповідальність за дотриманням техніки безпеки на території стаціонарної електростанції несе бригадир і майстер складального цеху. Майстер проводить 1 раз на квартал інструктаж з техніки безпеки.

До технічних заходів з техніки безпеки відносяться :

- періодична перевірка обладнання стаціонарної електростанції;
- інструмент і пристосування якими користуються при роботі на електростанції повинні бути справні, не зношені і відповідають вимогам техніки безпеки;

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ПННІ НУК 131.61.23.25 ПЗ

Лист

70

- на території стаціонарної електростанції повинна знаходитись аптечка укомплектована згідно вимог;

Заходи з протипожежного захисту на ділянці складання змішувача газу з повітрям також можливо розділити на організаційні та технічні.

Організаційні заходи: навчання робітників ділянки правилам пожежної безпеки, проведення лекцій, бесід, друкування необхідних інструкцій, обладнання ділянки плакатами.

З технічних заходів на ділянці потрібні :

- обладнати електростанцію протипожежним щитом, який укомплектувати згідно вимог;
- укомплектувати електростанцію ящиком з піском для тушіння ізоляції дротів, які знаходяться під напругою ;
- пролите масло потрібно негайно прибрати. Для цього бути ящик для використаного ганчір'я;
- для місцевого освітлення потрібно використовувати тільки електричну лампочку під напругою 6-36 V, яка захищена металевою сіткою;
- обладнати планом евакуації робітників у випадку пожежі.

4.5 Техніка безпеки при експлуатації двигуна

Для правильної технічної експлуатації і для забезпечення безпеки при експлуатації двигуна і допоміжних механізмів необхідно виконувати наступні основні вимоги:

- двигун і всі допоміжні механізми і пристрої установки повинні експлуатуватися в строгій відповідності з діючими правилами технічної експлуатації і інструкціями;
- не дозволяється знімати огорожі з рухомих частин (маховиків, муфт, редукторів і т. д.) працюючих механізмів;
- необхідно надійно закріплювати в своїх місцях запасні частини, пристосування і інвентар;

					ПННІ НУК 131.61.23.25 ПЗ	Лист
						71
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- постійно підтримувати чистими і сухими проходи, місця огляду автомобіля;
- не дозволяється захаращувати якими-небудь предметами проходи в гаражі;
- дотримувати необхідні заходи обережності при перевірці на дотик ступеня нагрівання рухомих частин механізмів;
- не дозволяється чистити і обтирати рухомі частини працюючих механізмів, а також виробляти на них роботу, яка може привести до нещасних випадків;
- при перебірці двигуна не можна розміщувати болти, гайки, інструмент і т.п. на деталях механізму руху;
- пуск двигуна необхідно здійснювати в строгій відповідності із заводською інструкцією;
- слід періодично перевіряти (по інструкції) всі запобіжні клапани, стежити за справністю запобіжних пристроїв, встановлених на картерах двигунів для запобігання небезпечному вибуху в них пари масла;
- при зупинці двигуна повинні бути вжиті відповідні заходи, що не допускають його пуск до закінчення огляду.

4.6 Охорона навколишнього середовища

Охорона природи в нашій країні – важлива справа. Проблема захисту навколишнього середовища від забруднюючих відходів промисловості і транспорту з кожним роком набуває все більше значення, погрожуюча перетворитися в екологічну катастрофу для нашої планети. Рішення такої проблеми носить комплексний характер і жоден джерело зараження не повинно залишитися без уваги.

На рівні держави прийнято багато рішень по розробці в здійснення заходів по охороні навколишнього середовища, раціонального використання і відтворення природних ресурсів.

					ПННІ НУК 131.61.23.25 ПЗ	Лист
						72
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Двигуни внутрішнього згорання, які працюють на вуглеводних типах пального являється значним джерелом забруднення навколишнього середовища. Джерелом забруднення на стаціонарних електростанціях являються відпрацьовані гази двигуна внутрішнього згорання і скиди палива, масла.

Завдання зберегти навколишнє середовище складається у неперевищенні допустимого рівня забруднення шляхом створення системи, працюючої по замкнутому циклу, яка дозволяє утилізувати загальну масу відходів, а також очисткою і зниженням токсичності викидів які потрапляють у біосферу.

Очистка відпрацьованих газів від шкідливих речовин заключається в застосуванні фільтрів та нейтралізаторів, які відповідно, утримують та нейтралізують шкідливі речовини.

Існує декілька способів нейтралізації відпрацьованих газів у випускній системі двигуна:

- Окислення відпрацьованих газів шляхом подачі до них додаткового повітря в термічних реакторах. Поглинання токсичних компонентів рідиною в рідинних нейтралізаторах. Цей спосіб не набув широкого поширення через малу ефективність і необхідність частої заміни рідини.

- Застосування каталітичних нейтралізаторів і фільтрів сажі - в даний час найактуальніше.

					ПННІ НУК 131.61.23.25 ПЗ	Лист
						73
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

Розроблена відповідно до завдання «Покращення показників 4-тактного двигуна потужністю 600 кВт для стаціонарної електростанції при заміні виду палива (біогаз) з розробкою конструкції поршня. Прототип 6ГЧН 25/34» кваліфікаційна робота містить в собі необхідні конструкторські креслення, розрахункові і пояснювальні матеріали по газовому двигуну 6ГЧН 25/34 і детальну розробку конструкції поршневої групи. Кваліфікаційна робота оформлена текстовим документом у вигляді пояснювальної записки та графічної конструкторської частини проекту загальною кількістю 6 листів формату А1.

Газовий двигун 6ГЧН 25/34 потужністю 600 кВт застосовується у складі газового двигуна-генератора ДвГА-570 для приводу електрогенератора змінного струму і встановлюється на промислових виробництвах, або котельних, де постійно споживаються електрична та теплова енергія.

У другому розділі кваліфікаційної роботи по заданим вихідним параметрам проектного двигуна ($P_e=600$ кВт) визначений двигун – прототип 6ГЧН25/34 ($P_e=530$ кВт при $n=600$ хв-1) і виконані розрахунки робочого циклу. Результати розрахунків показали, що задану потужність газового двигуна можна отримати при тиску газоповітряної суміші у впускному колекторі двигуна $p_k = 0,19$ МПа, ступеню стиску $\epsilon = 10,5$, коефіцієнті надлишку повітря $\alpha = 1,75$.

По результатам розрахунків робочого процесу побудовані індикаторна діаграма дійсного робочого циклу та діаграми сил, що діють на деталі КШМ, величини яких знайдені в динамічному розрахунку двигуна.

Значне місце в дипломному проекті зайняла розробка конструкції поршневої групи, яка забезпечує підвищення надійності та ресурсних показників двигуна завдяки покращенню роботи поршневих кілець та юбки поршня, що стало можливим при оптимізації конструкції та кількості поршневих кілець і зменшенні деформації юбки поршня.. В пояснювальній записці приведений детальний опис запроектованої поршневої групи та виконане обґрунтування запропонованої

					ПННІ НУК 131.61.23.25 ПЗ	Лист
						74
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

конструкції поршня та поршневих компресійних кілець. Розроблена конструкція поршня з підвищеною жорсткістю тронка та компресійного кільця з підвищеною герметичністю та покращеною зносостійкістю.

В технологічному розділі кваліфікаційної роботи розроблено технологічний процес складання шатунно - поршневої групи. В ході цієї розробки складено маршрутний технологічний процес складання ШПГ, визначено час на виконання кожної операції складання.

Враховуючи те, що запроєктований газовий двигун 6ГЧН 25/34 є джерелом шуму і вібрації, велику увагу в кваліфікаційній роботі відведено на розробку заходів по зменшенню негативного впливу його роботи на обслуговуючий персонал і на навколишнє середовище.

					ПННІ НУК 131.61.23.25 ПЗ	Лист
						75
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЛІТЕРАТУРА

1. Нестеренко В.В., Лисих А.Ю. Теоретичні передумови застосування альтернативних палив як екологічно безпечних енергоресурсів. //Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти становлення (випуск 80): матеріали Міжнародної наукової інтернет - конференції, (м. Тернопіль, Україна – м. Ополе, Польща. 19-20 вересня 2023р. – С. 214-216.
2. O. Cherednichenko, M. Tkach, B. Timoshevskiy, V. Havrysh, S. Dotsenko. Improving the efficiency of a gas-fueled ship power plant using a Waste Heat Recovery metal hydride system. Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Szczecinie № 59 (131) – 30.09.2019. – С. 9 – 15.
3. I. Shvets, O. Hrabovenko, S. Dotsenko, V. Nesterenko. «Results of the Experimental Research of the Medium Speed Diesel Engine Work on Soybean Oil». // 24rd International Scientific Conference on Transport Means 2020: – Kaunas, Trakai, Lithuania, 2020. – Pages 671-675.
4. Нестеренко В.В. Фідровська Н.М., Писарцов О.С. Визначення впливу геометричних параметрів канатних блоків на довговічність канату.: - Підйомно-транспортна техніка, Вип. 1(62), 2020, - с. 19-28
5. Фідровська Н.М., Ломакін А.О., Хурсенко С.О., Нестеренко В.В. Напружений стан дротинки канату в процесі згинання на блоці.: - Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету, Вип. 92, т.1, 2021, - с.184-187
6. 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., Григоренко В.О.- Первомайськ ПП, 2010.
7. І.О. Григурко, М.Ф. Брендуля, С.М. Доценко Технологія обробки типових деталей (курсове проектування) «Новий світ – 2000», Львів, 2006. – 576с.

					ПННІ НУК 131.61.23.25 ПЗ	Лист
						76
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

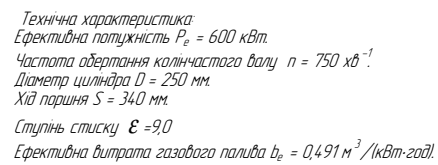
8. Григурко І. О., Анастасенко С. М., Доценко С. М. Проектування технологічних процесів в судновому машинобудуванні (Практикум). «Новий світ – 2000», Львів, 2017. – 348с.

9. С.М. Доценко О.І. Грабовенко, І.А. Швець, А.Ю. Лисих [Експериментальні дослідження екологічних параметрів дизельного двигуна при роботі на соєвій олії](#). Збірник наукових праць НУК – Миколаїв: НУК, 2023. – № 2 - 3 (491- 492). – С. 49 – 56.

10. S. Dotsenko, V. Nesterenko, A. Lysykh, O. Hrabovenko, I. Shvets Mathematical modelling of emissions of toxic components of a medium speed diesel engine when operating on soybean oil. 27rd International Scientific Conference on Transport Means 2023 04.10. - 06.10.2023: – Palanga, Lithuania, 2023. – Pages.

					ПННІ НУК 131.61.23.25 ПЗ	Лист
						76
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

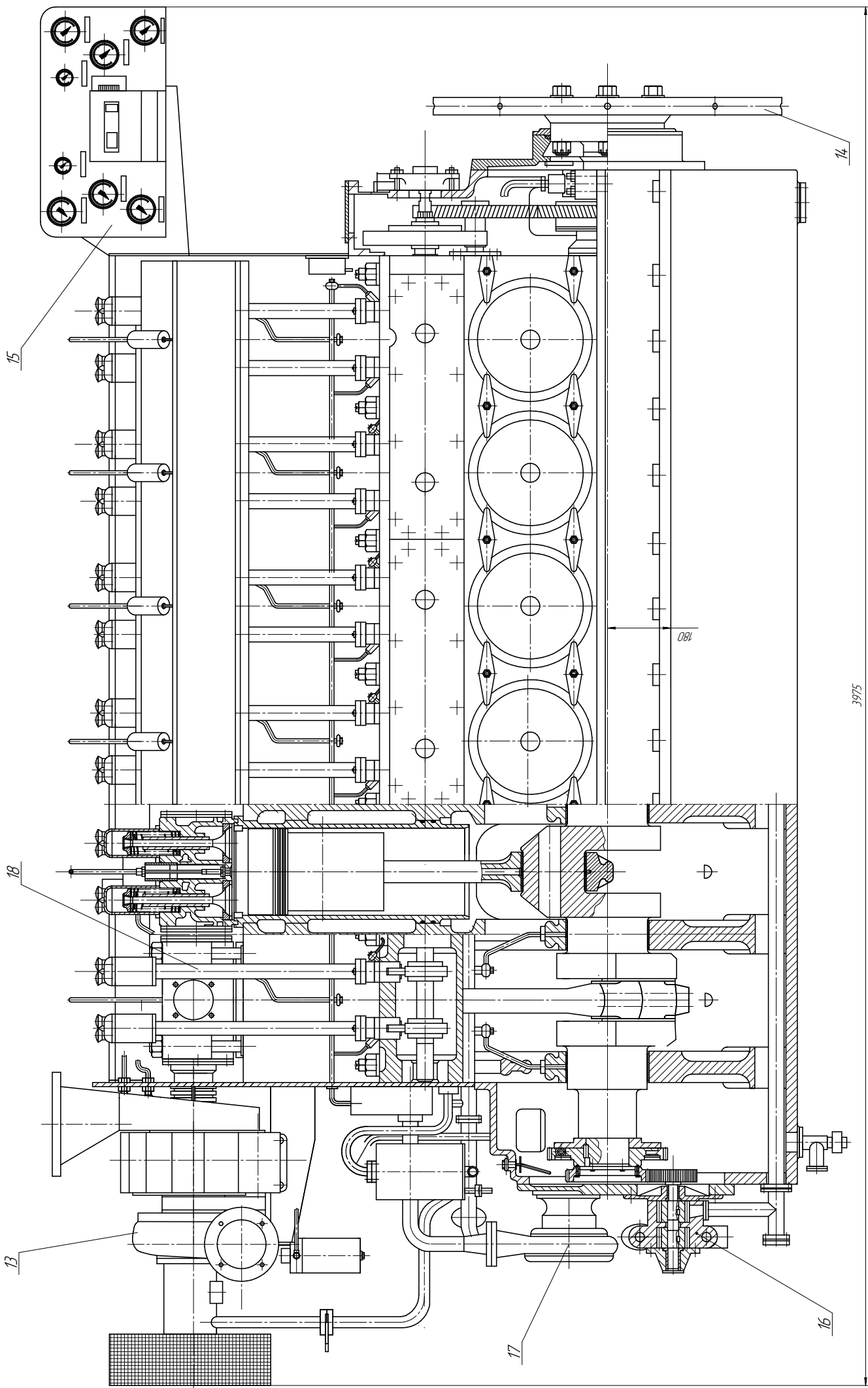
Перв. примен.	Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание		
Справ. №					Документація				
					Складальне креслення				
					Складальні одиниці				
			1		Фундаментна рама	1			
			2		Колінчастий вал	1			
			3		Блок-картер	1			
			4		Кришка циліндра	6			
			5		Поршень	6			
			6		Шатун	6			
			7		Розподільний вал	1			
			8		Впускний колектор	1			
			9		Випускний колектор	1			
			10		Маховик	1			
			11		Турбокомпрессор	1			
			12		Щит приборів	1			
			13		Масляний насос	1			
		14		Водяний насос	2				
		15		Система вентиляції картера	1				
		16		Змішувач	1				
Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	ПННІ НУК 131.61.23.05.00.СК					
Инв. № подл.	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Газовий двигун 6ГЧН 25/34	Лит.	Лист	Листов
	Разраб.	Гірда І.І.					У		1
	Пров.	Нестеренко В.В.							
	Н.контр.	Нестеренко В.В.							
	Утв.	Нестеренко В.В.					61-ТЕМмаз-223		



Технічні вимоги
Масло яке використовується на двигуні – МГ10Г₂ЦС.
Охолоджуюча рідина: вода прісна з антикорозійною присадкою
ВНИИТП117/Д.

					ПНН 1316123.05 СК				
					Газовый движун 6ГЧН 25/34		Лит	Масса	Максимум
							Н	10500	14
Мен	Лист	№ докум			Лист	Штамп			
Разработ				Год	1				
Проект	Нестеренко ВВ								
Контракт	Нестеренко ВВ								
Исполн	Нестеренко ВВ						Лист	1	Листов 2
Штамп	Нестеренко ВВ						61-ГЕМмаз-223		

ПНН НУК 1316123.05 СК



39/75

ПНН НУК 1316123.05 СК		Лист		Кол-во листов	
Газовый двигатель		И		10500	
674425/34		Лист 2		2	
Полный разрез		Лист 2		2	
61-ТЕНД-223		Лист 2		2	
Контракт		Лист 2		2	
Углы		Лист 2		2	

Контракт

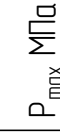
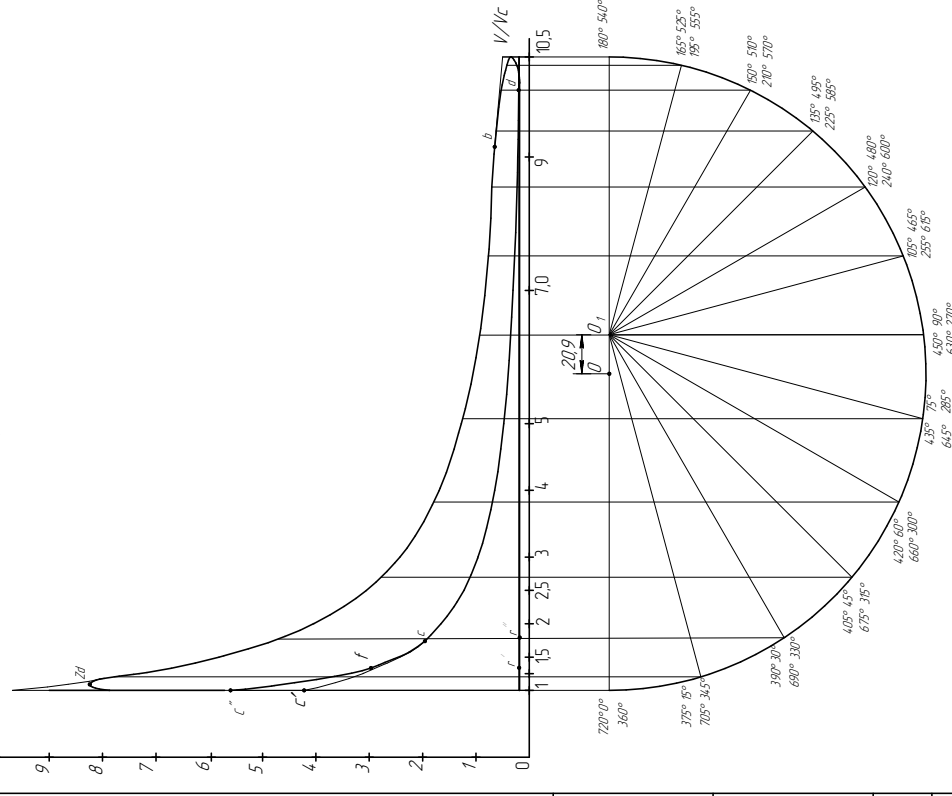
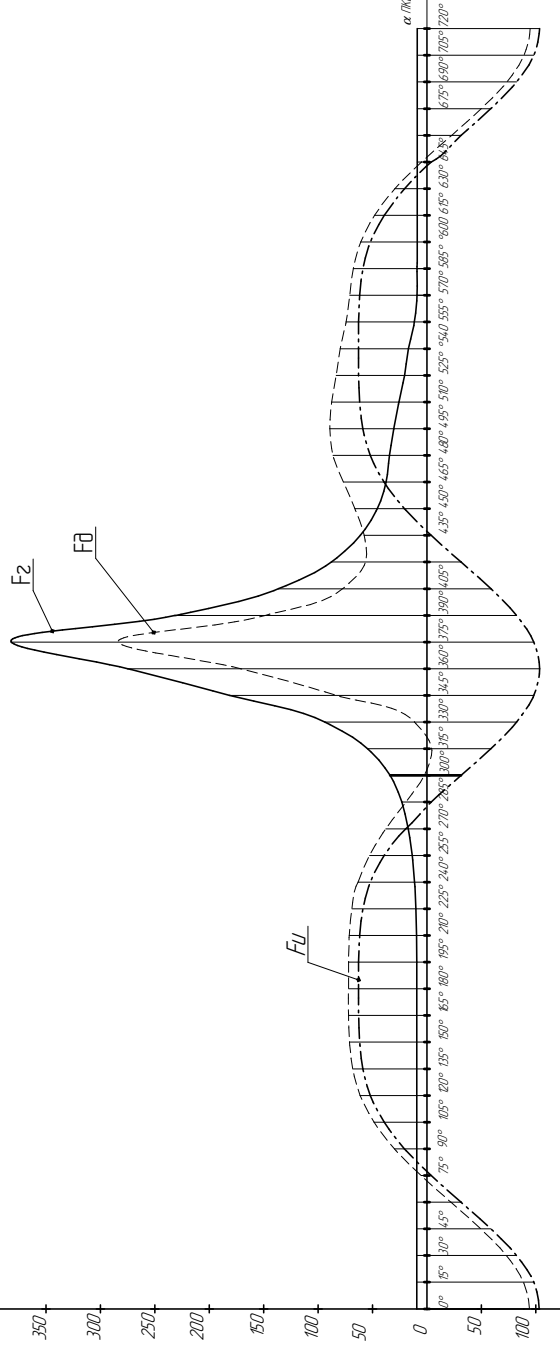
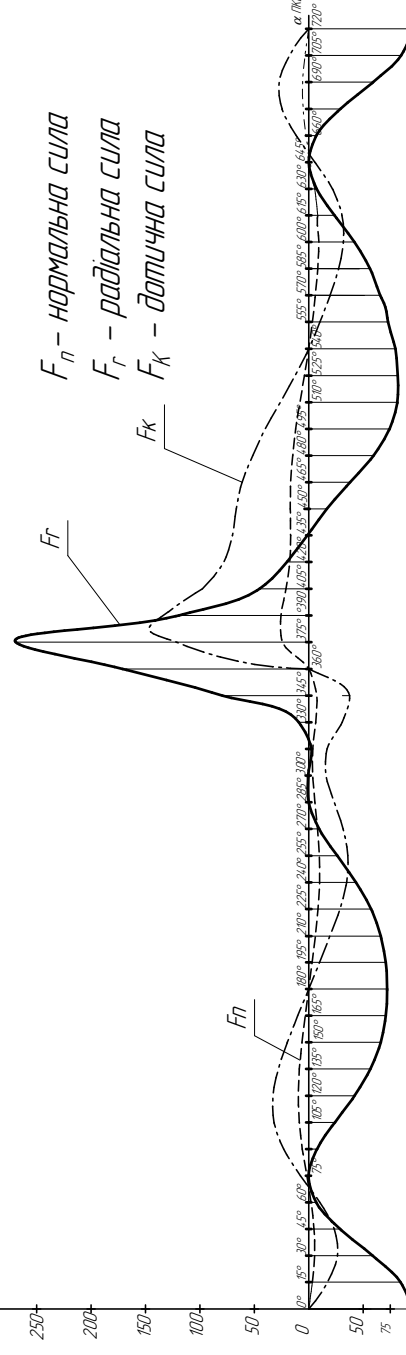
Лист

Кол-во листов

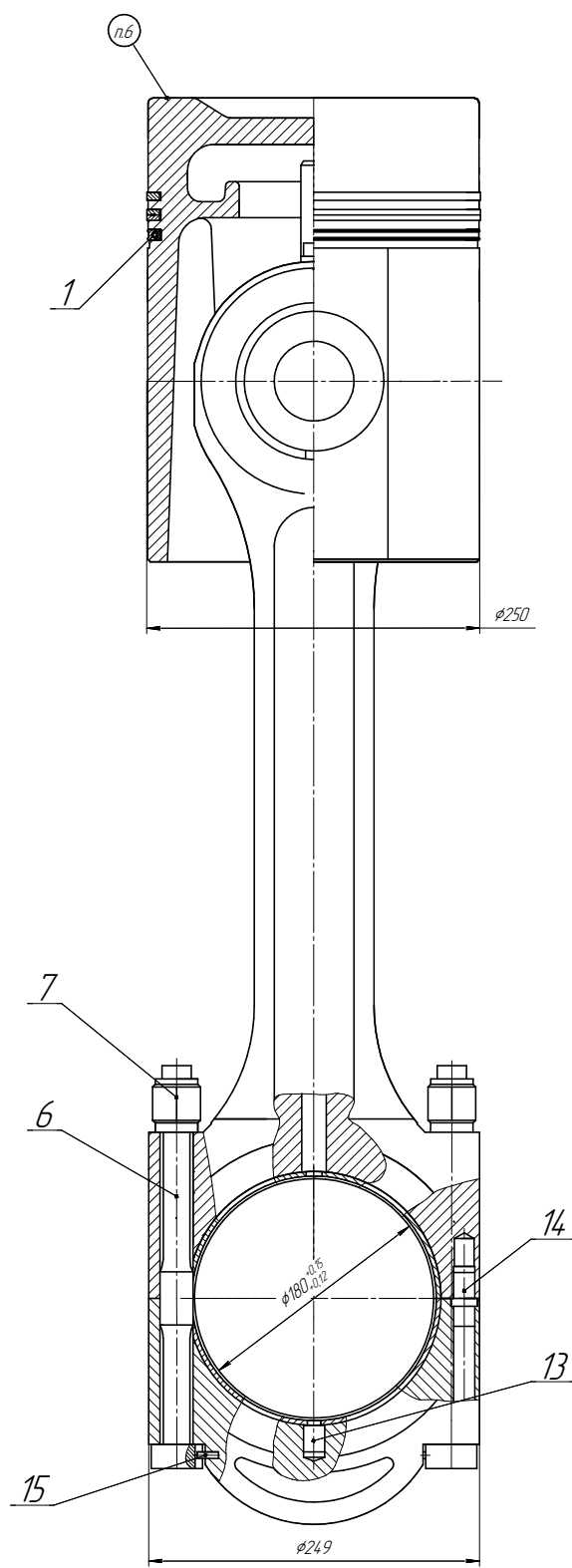
Контракт

Лист

Кол-во листов


$$\text{Маштад туску } \mu_p = 0,05 \text{ МПа/мм}$$
 $F_z, F_u, F_{\bar{u}}, K_H$
$$\text{Маштаб сил } \mu_F = 2,45 \text{ кН/мм}$$
 F_n, F_r, F_k, KH  F_n - нормальная сила F_r – радіальна сила F_K – допична сила[illegible]

Перв. примен.		Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание	
Справ. №		A1			7.05050304.61.16.09.01.19.00 СК	Складальне креслення			
						Складальны одиниці			
					10	Кільце маслознімне	2		
						Деталі			
					1	Поршень	1		
					2	Стрижень шатуна	1		
					3	Кришка шатуна	1		
					4	Вкладиш шатунний	2		
					5	Болт шатунний	4		
					6	Гайка шатунного болта	4		
					7	Втулка шатуна	1		
					8	Палець поршневий	1		
					9	Кільце компресійне	2		
					11	Розпилювач	1		
					12	Штифт	2		
Подп. и дата					13	Штифт	1		
					14	Штифт	4		
					15	Кільце стопорне	2		
					Инв. № подл.				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата					
Разраб.	Гірда І.І.								
Пров.	Нестеренко В.В.								
Н.контр.	Нестеренко В.В.								
Взам. инв. №						Шатунно – поршнева група	Лит.	Лист	Листов
							Н		1
							ППІ НУК		
Подп. и дата									



1. Перед складанням деталі протерти, отвори та порожнини пропустити стиснутим повітрям.
2. Порошків кінцях встановлювати в канавки та знімати за допомогою спеціального пристосування.
3. Порошків кінцях, захищені маслом, повинні вільно обертатися в канавках навколо осі поршня.
4. Замки поршневих кілець розташовувати під кутом 90° відносно

ПННІ НУК 131.61.23.05 СК

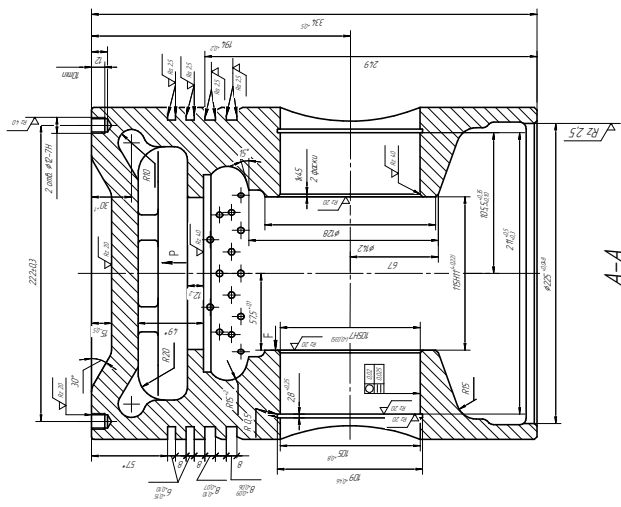
Шатунно - поршнева група

Num	Massa	Maciutad
	115,7	1:2,5

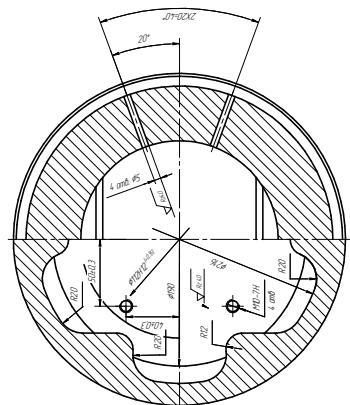
71221	712200	1
61	ТЕМ	мдз 22з

Konstantin

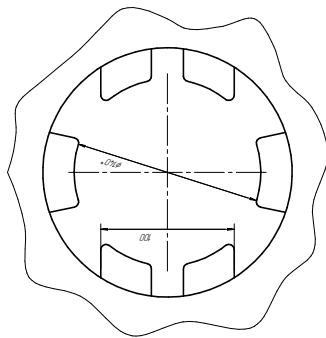
Φορμή A1



A-A

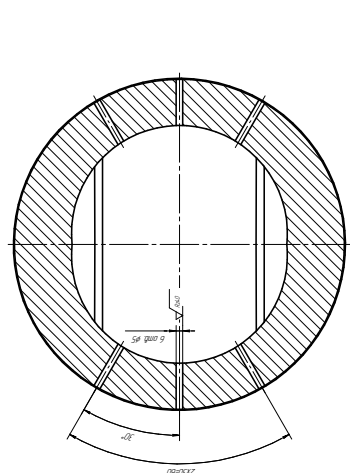


P

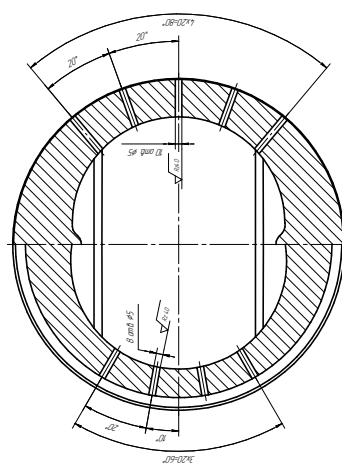


B-B

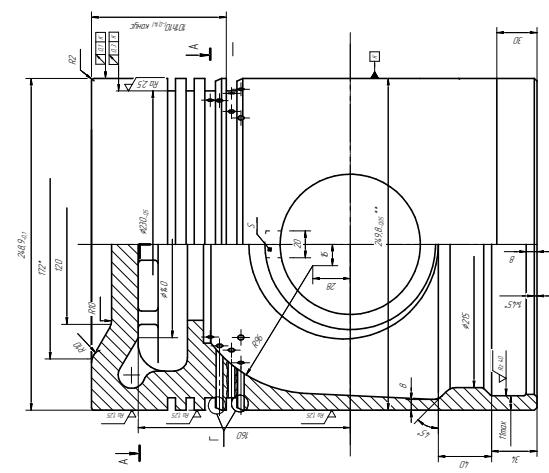
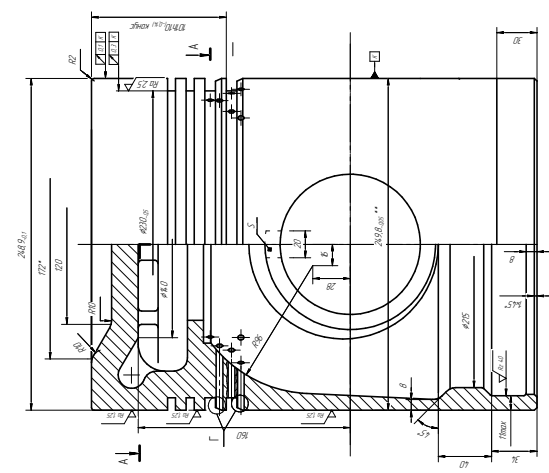
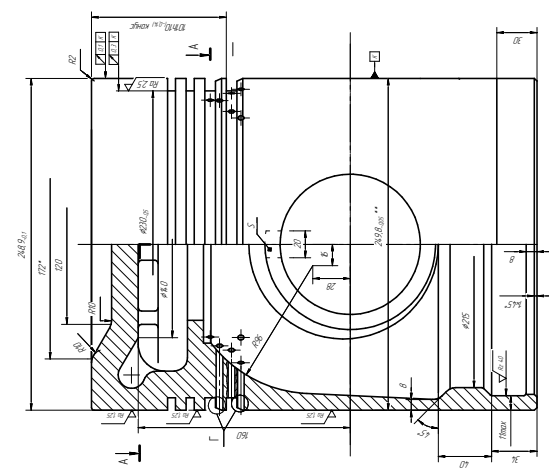
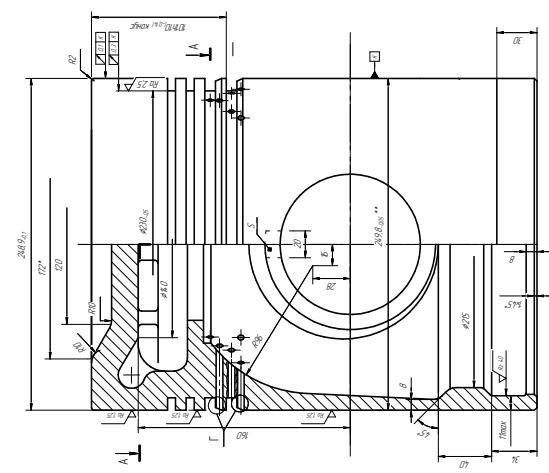
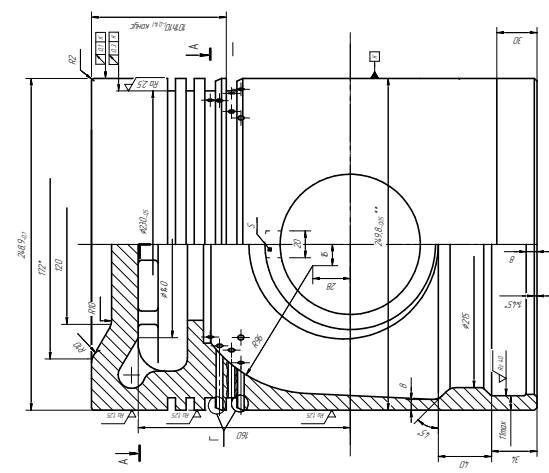
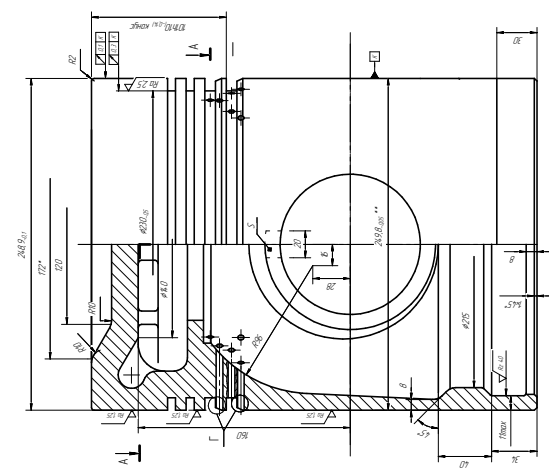
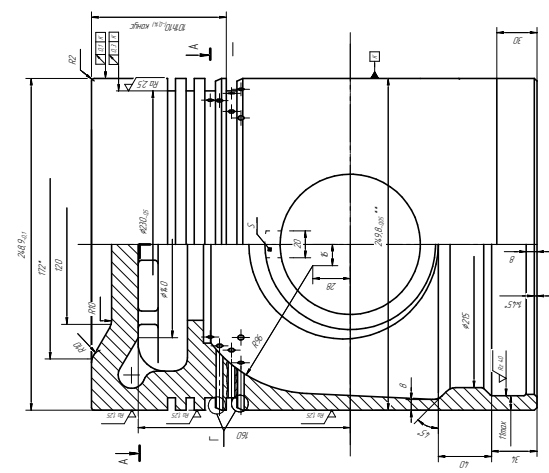
B-B



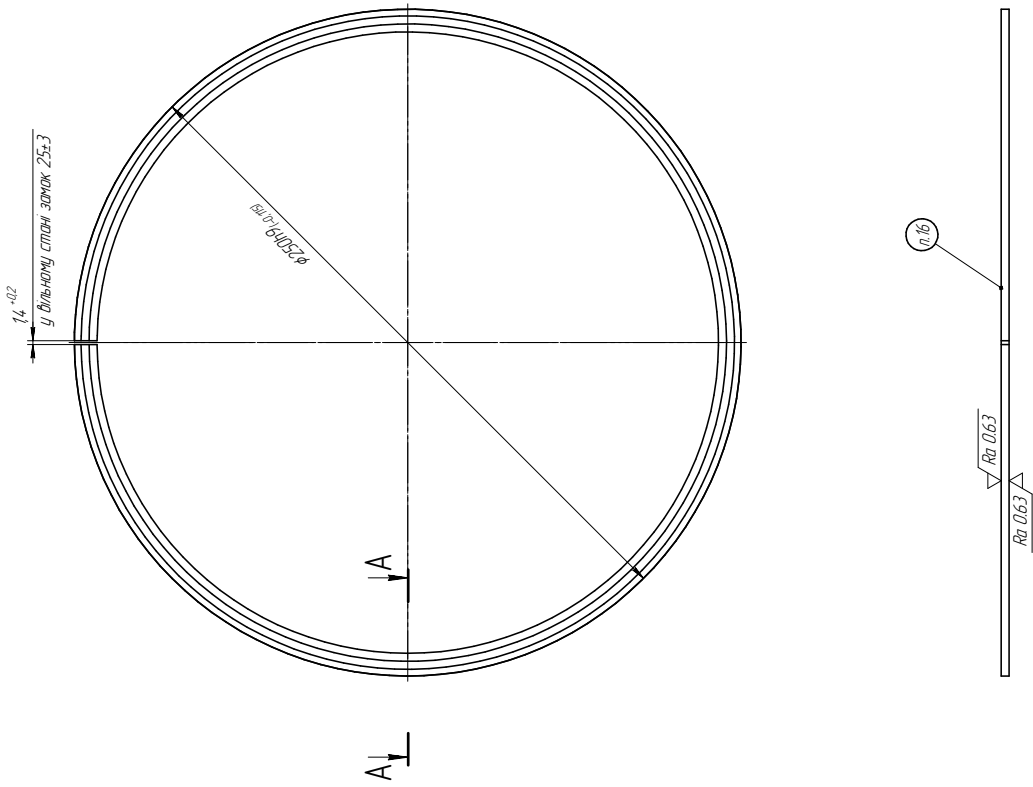
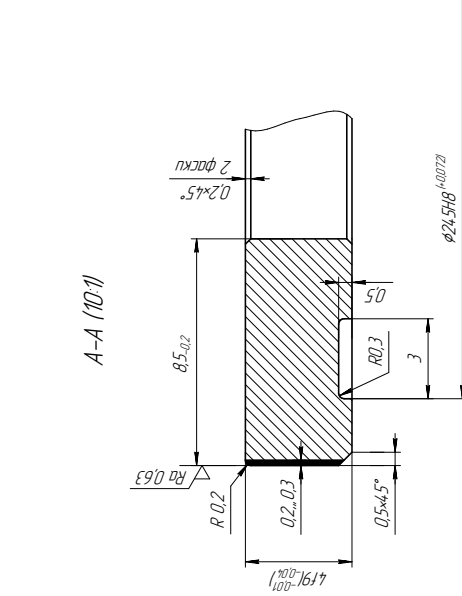
B-B



B-B



1. Кільце має відповідати вимогам ГОСТ 7453-80
2. Хімічний склад високотемпературного чавуну подібний до наступного:
 $C_{\text{вугл.}} = 2,5-3,6\%$; $Si = 2,2-3,5\%$; $Mn = 0,6-1,1\%$; $P = 0,1\%$; max :
 $S = 0,08\%$; max : $Co = 0,6-1,9\%$; $Mg_{\text{всг.}} = 0,03-0,08\%$. Відхилення від заданого хімічного складу, окрім фосфору та сірки, не вносяться в браковочний протокол при умові відповідності кільця вимогам по твердості, механічним властивостям та мікроструктурі.
3. Мікроструктура матеріалу подібна представленим: неметалева основа – матриця – мікро – та середньопластинчастий або сорбитаподібний перлит. Цементити у вигляді мілких вклучень допускається не більше 10% шорду. Фосфидна евтектика допускається у вигляді мілких рівномірних вклучень або розріданої сітки. Глибина фосфидної евтектики з пластинчастим цементити не допускається
4. Твердість загодованих паринейних кілець повинна бути HВВ 9, 10. Твердість в різних ділянках кільця не повинна відхилятися більше ніж на 4 одиниці. Твердість паринейних кілець повинна визначатися у відповідності до ГОСТ 9013-59 на протязі ділянок плоскої поверхні по середній лінії кільця першої ділянки – не довше 5мм від зажима, другої ділянки – в зоні 90° від зажима, третьої ділянки – в зоні 180° від зажима. На кожній із ділянок необхідно виконати не менше трьох вимірів.
5. Залишкова деформація при випробуванні по ГОСТ 7295-81 не повинна бути більше 1%.
6. Пружність кільця при стискуванні їх допоміжними силами, прикладеними із задіяними сторонами кільця до опромінення в зажимі зазора 14^{+0,2} мм повинна бути 34,3-4,9 Н (35±0,5 Кс). Допускається перевертати пружність кільця при стискуванні їх допоміжними силами, неparallelно перпендикулярно до дотеперішньої лінії, що проходить через зажим, до опромінення зазора в зажимі 14^{+0,2} мм при цьому пружність має бути 85±15 Н (85±15 кгГ).
7. Кільце встановлене в контрольному колідрі, повинно прилягати до його поверхні не менше ніж на 90%, довжини кола. Допускається неparallelний або точечний контакт в місцях не parallelного допускається зазор не більше 0,03 мм. Не допускається зазор в зоні 15° в кожну сторону від зажима.
8. Колідання радіальної товщини в одному кільці не повинно перевищувати 0,2мм.
9. Коридження паридових поверхней кілець повинна бути не більше 0,065мм.
10. При обробці кільця на магнітній пилі кільця повинна бути розмежовані.
11. На поверхні заповних кілець не допускається тріщини, раковини, чорнадини, рикати, лиски, задирки та задирки. Допускається сколи на кутах зажима по внутрішній поверхні кільця розміри яких в захищеному стоні мають бути не більше 0,5мм.
12. Не вказані зваричні відхилення розмірів $\pm 1\%$.
13. Задіяння циліндричну поверхню кільця покрити пористим хромом. Ступінь пористості – 4,5-55%. Контроль на міцність зчеплення хрому проводили шляхом злому кільця не менше ніж в 3-х разрах. Хрому має руйнуватися разом з чавуном не відірватися від нього. Шор хрому має бути суцільним. Не допускається прегар, відшарування та дикорозривання хрому.
14. Кільце повинно опромінюватися електролітичним способом з подібною покриття 0,005-0,01мм. На внутрішній поверхні кільця допускається відсутність пориди.
15. Контролювати зазор в зажимі (14^{+0,2}) в колідрі $\phi 250$ $\pm 0,08$.
16. Маркувати товщини зажиму знак заводу та діаметр кільця. Маркування наносити на відстані 15° від зажима. Шрифт 10-4. ГОСТ 2930-84.



--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Душ.					
Зам.					
Орус.					

[illegible]

ПІНІ НЧК	131.61.23.05:15.0.0 СК		022880005
Поршень			

Затверджую

Підпис _____ Прізвище Нестеренко В.В.

land

КОМПЛЕКТ ДОКУМЕНТІВ

на технологічний процес складання
парашевої групи

Розробили

77

Передвижной

Нестеренко В.В.

Н.КОНТР

Нестеренко В.В.

																	1	1		
Розроб.	Грда			ПННІ НУЖ				1316123.05.15.0.0 СК						102880005						
Перев.	Нестеренко																			
Нормуваль	Грда																			
Н контр.	Нестеренко						Поршень													
А		Цех	Діл	РМ	опер.	Код, найменування операції	Позначення документа													
Б		Код, найменування обладнання					СМ	проф.	Р	УП	КР	КОВД	ОН	ОВ	К шт	Т п.з.	Т шт.			
к-м		Найменування деталі, ск. одиниці або матеріалу					Позначення, код													
А 01					005	Підготовча	1	17474	3		1	1					13,4			
Б 02		Ванна В – 7940 ГОСТ 9699-76 Верстак АМ – 0494																		
03																				
А 04					010	Складальна	1	17474	3		1	1					35,2			
05		Верстак АМ-0494																		
06																				
А 07					015	Складальна	1	17474	3		1	1					5,35			
Б 08		Верстак АМ-0494																		
09																				
10					020	Контрольна	1	17474	1		1	1					5,2			
11		Ваги 10 – 200кг ГОСТ23676-79																		
12																				
13																				
14																				
15																				
16																				
17																				
МК		Маршрутна Карта Складання та виробудування																		

