

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 техніко-експлуатаційних параметрів стаціонарного газового двигуна потужністю 300кВт з розробкою інтеркулера вдосконаленої конструкції.

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

Керівник роботи:
_____ **Д.Т.Н., професор**
(посада, науковий ступень, вчене звання)
_____ **Тимошевський Б. Г.**
(підпис)

м. Первомайськ, 2023 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова
Первомайський навчально-науковий інститут

Факультет - Інженерно-економічний

Кафедра «Енергетичне машинобудування»
Спеціальність 131 – «Прикладна механіка»
Освітня програма «Технології енергетичного машинобудування»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Гарант освітньої програми

(підпис)

« ____ » _____ 2023 р.

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

Студенту Бондар Павло Іванович

Тема: «Покращення техніко-експлуатаційних параметрів стаціонарного газового двигуна потужністю 300кВт з розробкою інтеркулера вдосконаленої конструкції»

Керівник роботи д.т.н., професор Тимошевський Б. Г.

Затверджено розпорядженням ПННІ НУК від 11.09.2023 року за № 49.

2. Термін подання студентом роботи до розгляду на кафедру 15.12.2023 року.

3. Вихідні данні по роботі: Двигун-прототип 6ГЧН18/22 потужністю 280 кВт.

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

Вступ. 1. Загальний розділ. 2. Конструкторський розділ. 3. Науковий розділ. 4.

Охорона праці та навколишнього середовища. Загальні висновки по кваліфікаційній роботі.

5. Перелік презентаційних матеріалів.

1. Габаритне креслення двигуна, СК, А1. 2. Поперечний переріз двигуна, СК, А1. 3. ОНП (інтеркулер), СК, А1. 4. Система охолодження, РК, А1. 5. Діаграми індикаторна та сил, що діють на КШМ.

6. Консультанти роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв

7. Дата видачі завдання «11»вересня 2023 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Номер	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ.	18.09.2023	
2	Загальний розділ.	02.10.2023	
3	Конструкторський розділ.	26.10.2023	
4	Науковий розділ.	15.11.2023	
5	Охорона праці та навколишнього середовища.	06.12.2023	
6	Загальні висновки по кваліфікаційній роботі. Оформлення кваліфікаційної роботи	13.12.2023	

Студент _____ Бондар П. І.
(підпис)

Керівник
роботи _____ Тимошевський Б. Г.
(підпис)

Анотація

Пояснювальна записка до кваліфікаційної магістерської роботи на тему «Покращення техніко-експлуатаційних параметрів стаціонарного газового двигуна потужністю 300кВт з розробкою інтеркулера вдосконаленої конструкції» містить в собі необхідні конструкторські креслення, розрахункові і пояснювальні матеріали по газовому двигуну 6ГЧН 18/22 і детальну розробку конструкції поршня. Кваліфікаційна робота оформлена у вигляді пояснювальної записки та графічної конструкторської частини проекту загальною кількістю 5 листів формату А1.

Газовий двигун 6ГЧН 18/22 потужністю 300 кВт при частоті обертання колінчастого валу 1000 хв^{-1} використовується для приводу електрогенератора змінного струму і встановлюється в місцях постійного споживання електричної та теплової енергії. Детальна конструкція газового двигуна 6ГЧН 18/22 показані в Додатку 1 графічної частини роботи.

По результатам розрахунку робочого процесу побудовані індикаторна діаграма дійсного робочого циклу та діаграми сил, що діють на деталі КШМ, величини яких знайдені в динамічному розрахунку двигуна. Вказані діаграми побудовані на листі Додатку 5 графічної частини роботи.

Важливе місце в кваліфікаційній роботі займає розробка конструкції ОНП інтеркулера, виготовленого із міді. В пояснювальній записці приведений детальний опис ОНП двигуна - прототипу та виконаний розрахунок теплообмінника. Складальне креслення поршня показано в Додатку 3.

Ключові слова: інтеркулер, ОНП, робочий процес, охорона праці, захист навколишнього середовища.

Abstract

The explanatory note to the qualifying master's thesis on the topic "Improving the technical and operational parameters of a stationary gas engine with a capacity of 300 kW with the development of an intercooler of an improved design" contains all the necessary design drawings, calculations and explanatory materials on the gas engine 6 GCHN 18/22 and detailed design of the piston. The qualification work is designed in the form of an explanatory note and a graphic design part of the project with a total of 5 letters in A1 format. The gas engine 6HChN 18/22 with a power of 300 kW at a crankshaft rotation frequency of 1000 min^{-1} is used to drive an alternating current electric generator and is installed in the power of the post consumption of electricity and passive energy. The detailed design of the 6HChN 18/22 gas engine is shown in Appendix 1 of the graphic part of the work. According to the results of the calculation of the work process, an indicator diagram of the working cycle and a diagram of the forces acting on the KShM part, the values of which are found in the dynamic calculation of the engine, are constructed. The indicated diagrams are built on the page of Appendix 5 of the graphic part of the work. An important place in the qualification work is occupied

3MICT

ВСТУП.....	5
1. ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ	
1.1 Технічна інформація про об’єкт використання двигуна... ..	6
1.2 Опис конструкції двигуна– прототипу.....	8
2. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	
2.1 Вибір основних параметрів для розрахунку робочого процесу.....	16
2.2 Розрахунок робочого процесу газового двигуна.....	19
2.3 Розрахунок та побудова теоретичної та дійсної індикаторної діаграми.....	29
2.4 Розрахунок теплового балансу	33
2.5 Динамічний розрахунок двигуна.....	38
3. НАУКОВИЙ РОЗДІЛ	
3.1 Загальні відомості по ОНП.....	44
3.2 Розрахунок теплообмінників.....	45
4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	
4.1 Охорона праці та техніка безпеки при роботі в машинному відділенні.....	53
4.2 Захист навколишнього середовища	57
ВИСНОВКИ.....	61
ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ.....	62

					ПІННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ							
Зм.	Арк..	№ документа	Підпис	Дата								
Розробив	Бондар				Пояснювальна записка			Літера	Лист	Листів		
Перевірів	Тимошевський							н		3	67	
								61-ТЕМмаг-22з				
Н. контр	Тимошевський											
Затвердив	Нестеренко											

ДОДАТКИ

ДОДАТОК 1	Габаритне креслення двигуна, СК, А1.....	63
ДОДАТОК 2	Поперечний переріз двигуна, СК, А1	64
ДОДАТОК 3	ОНП (інтеркулер), СК, А1.....	65
ДОДАТОК 4	Система охолодження, РК, А.....	66
ДОДАТОК 5	Діаграма індикаторна та сил, що діють на КШМ.....	67

					ПІННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ	Лист
						4
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Двигуни внутрішнього згоряння (ДВЗ) широко застосовуються в усіх галузях народного господарства і в майбутньому вони являтимуться джерелом енергії для різних енергетичних установок. Постійно відбувається розширення їх вдосконалення. Тому перед двигунобудівниками стоїть задача вдосконалення ДВЗ стосовно їх призначення. Двигун внутрішнього згоряння – циклічний тепловий двигун, що, як відомо, є одним з його недоліків. Разом з цим циклічний принцип здійснення робочого процесу дозволяє реалізовувати в двигуні внутрішнього згоряння високу температуру та тиск газу, завдяки чому ДВЗ є більш економічними енергетичними установками в порівнянні з іншими тепловими двигунами.

Але розвиток конструкції ДВЗ в теперішній час відбувається в умовах інтенсивного виснаження світових запасів нафти і жорстоких вимог до екологічних характеристик двигуна: токсичності, рівня шуму і вібрацій. Це ускладнює вирішення задачі про вдосконалення технічних характеристик ДВЗ.

Сучасний двигун складається з великої кількості різноманітних деталей, систем та механізмів, від роботи яких в значній мірі залежать такі параметри: вага, технічні характеристики двигуна. Основним подальшим розвитком двигунобудування є переобладнання двигунів працюючих на дорогому дизельному паливі на двигуни, які працюватимуть на більш дешевшому паливі – природному газі.

В кваліфікаційній роботі пропонується спрощений варіант розробки ОНП (інтеркулера).

					ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ	Лист
						5
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Технічна інформація про об'єкт застосування двигуна.

Для розміщення 2-х когенераційних установок із газовими двигунами 6ГЧН18/22 загальною електричною потужністю 600 кВт використовуються переважно площі, що вивільняються при реконструкції промислових об'єктів. В розробленому проекті когенераційна установка розміщується на вільній площі котельні. Будівля одноповерхова, із складеного залізобетону, каркасна із залізобетонними панелями. Висота до низу ферми - 6м. Приміщення обладнано підвісним краном вантажопід'ємністю 1,0 Т. Будівля знаходиться в доброму стані, частина будівлі, де буде встановлюватися когенераційна установка, вільна. В зовнішніх стінах є світові пройоми. До будівлі підведені інженерні комунікації. Стан навколишнього середовища району задовільний. Розрахункова температура навколишнього повітря найбільш холодних п'яти діб - 20°C.

Призначення і мета застосування когенераційної установки.

Когенераційна установка на базі газового двигун-генератора ДвГА-280 з газовим двигуном 6ГЧН 18/22 призначена для вироблення електричної енергії на власні потреби котельні, а також для отримання додаткової теплової енергії за рахунок утилізації тепла від охолоджуючої води, масла, наддувочного повітря і вихлопних газів двигуна.

Мета застосування когенераційної установки - зменшення витрат споживача на електроенергію у 1,5....2 разів, а також додаткове отримання тепла.

Склад, характеристика устаткування.

В склад когенераційної установки входить слідуюче теплотехнічне устаткування:

- газовий двигун-генератор ДвГА-280, теплообмінник утилізаційний водогрійний (ТУВ), насоси циркуляційні, насоси поповнення, градирня ГМП-20, шафа газова, трубопроводи із запірною арматурою, система стиснутого повітря, система прийому.

					ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ	Лист
						6
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Основні технічні дані газового двигун-генератора ДвГА-280:

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

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

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

					ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ	Лист
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

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

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

Основні технічні характеристики ТУВ

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

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

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

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

Постачання повітря для пуску газового двигуна

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

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

Система прийому, зберігання та заміни масла

					ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ	Лист
						8
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для поточної витрати масла в проєкті передбачений бак запасу масла об'ємом 600 л. Подача масла в бак виконується насосом НМШ 5-25-4,0/4 від пересувної ємкості.

Протипожежні заходи

Будівля відноситься до 1-ої ступені вогнестійкості .

Категорія виробництва "Г".

Підвал у будівлі відсутній.

В проєкті передбачена безпечна евакуація людей у випадку пожежі. В будівлі є два рознесених евакуаційних виходи. Всі конструктивні елементи будівлі виконані із негорючих матеріалів. Передбачені також легко скидальні конструкції (віконні пройоми).

Газопостачання

Для роботи газового двигун-генератора в якості палива використовується природний газ. Максимальна витрата природного газу на номінальній потужності газового двигуна складає 74 м³/год. Підключення запроектованого устаткування передбачається до діючого газопроводу. Діаметр запроектованого газопроводу приймається по гідравлічному розрахунку із умови пропуску максимальної витрати газу. Свічки від продувочного та скидального газопроводу виведені на 1 м вище даху. Для обліку витрати газу до двигуна прийнятий лічильник GMS-G160.

Опалення і вентиляція

Опалення приміщення когенераційної установки передбачається із розрахунку компенсації тепловтрат через зовнішні огорожуючі конструкції і на нагрівання вентиляційного повітря і забезпечує в приміщенні нормовану температуру повітря. В робочий час підтримка нормованої температури в приміщенні когенераційної установки забезпечується за рахунок тепло- відділень від працюючого двигун-генератора. На період монтажу та ремонтних робіт підтримка нормованої температури забезпечується за рахунок роботи тепловентилятора із електропідігрівом.

					ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ	Лист
						9
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

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

Водопостачання і каналізація

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

Джерелом водопостачання є діюча мережа водопроводу діаметром 100 мм.

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

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

Електро - технічні рішення

Паралельна робота ДвГА-280 із електричною мережою Обленерго забезпечується комплектним електрообладнанням двигун-генератора – збуджуючим пристроєм УВГС, низьковольтним пристроєм УКН-400.

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

					ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ	Лист
						10
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

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

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

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

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

Для захисту людей від враження електричним струмом при пошкодженні ізоляції передбачається захисне занулення і заземлення всіх не струмоведучих частин електрообладнання, металевих корпусів щитів, сталевих конструкцій електропроводки, повітряних трубопроводів, нульовими жилами дротів, сталевими полосами 40·4 і 25·4 внутрішнього заземлення приміщення ДЕС.Проектований контур заземлення з'єднується із наявним контуром заземлення цеху.

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

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

					ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ	Лист
						11
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Пожежна сигналізація, газоаналіз і газове пожежогасіння

Пожежна сигналізація.

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

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

Газоаналіз

В проекті передбачається слідуєчий об'єм сигналізації:

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

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

Газове пожежогасіння

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

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

					ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ	Лист
						12
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

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

1.2 Опис конструкції двигуна-прототипу

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

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

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

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

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

					ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ	Лист
						13
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

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

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

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

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

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

Колінчатий вал з маховиком сталевий, цільнокований, має шість шатунних і сім корінних шийок. Коліна вала розташовані під кутом 120° друг до друга, причому перше коліно по напрямку збігається із шостим, друге — з п'ятим,

					ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ	Лист
						14
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

третє — із четвертим. У кожному коліні є косе свердління (масляний канал), що з'єднує радіальний отвір у корінних і шатунних шийках вала. Отвори призначені для підведення масла до шатунних шийок і до верхньої головки шатуна через отвори в ньому. Четверта корінна шийка є упорною. До фланця заднього кінця колінчатого вала за допомогою контрольних штифтів і болтів закріплено маховик.

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

Шатун має верхню головку, стрижень і нижню (шатунну) головку. Стрижень шатуна двотаврового перетину має глухий некрізний центральний отвір і два бічних свердління в нижній головці для підведення змащення до головного підшипника. У верхню головку запресована бронзова втулка. Нижня головка шатуна рознімна, скріплюється двома болтами. У нижній головці розміщені верхній і нижній вкладиші з біметалічної смуги, плакованої сплавом АСМ.

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

					ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ	Лист
						15
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1 Вибір основних параметрів для розрахунку робочого процесу двигуна

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

В основі методу аналітичного розрахунку лежить метод Гриневецького-Мазинга.

Проведемо аналіз вихідних параметрів для розрахунку робочого процесу:

а) 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.

б) Ступінь стиску.

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

в) Коефіцієнт надлишку повітря.

Коефіцієнт надлишку повітря для згоряння газового палива складає $\alpha = 1,1 \dots 1,8$ [1] стор.32 і уточнюється при виконанні розрахунку робочого циклу газового двигуна.

г) Коефіцієнт продувки камери згоряння.

					ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ	Лист
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

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

д) Підігрів заряду свіжого повітря, або газу - 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 $\Delta t = 10^\circ\text{C}$.

є) Коефіцієнти використання теплоти.

Дослідні величини коефіцієнтів використання теплоти в точках з і б 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 колінчатого валу $n = 500 \dots 750$ об/хв приймаємо для розрахунку робочого циклу такі коефіцієнти $\xi_z = 0,80$ і $\xi_b = 0,95$.

ж) Ступінь підвищення тиску

Ступінь підвищення тиску λ при згорянні газоповітряної суміші залежить від швидкохідності двигуна, ступеню наддуву, організації процесів утворення робочої суміші і його при розрахунках для середньо оборотних двигунів рекомендується приймати $\lambda = 1,35 \dots 2,5$. [2] стор.41.

з) Механічний ККД

Механічний ККД двигуна залежить від його від конструкції, швидкохідності, наявності приводних механізмів на ньому і таке інше. Величина ККД η_m знаходиться по емпіричній формулі.

к) Охолодження наддувочного повітря

Зниження температури наддувочного повітря або газоповітряної суміші в одноступеневому охолоджувачі повітря приймаємо в межах $40 \dots 80^\circ\text{C}$ [3] стор.207.

л) Температура залишкових газів

					ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ	Лист
						17
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Згідно довідкових даних температуру залишкових газів рекомендується приймати в межах $T_r = 600 \dots 900$ К. В розрахунку приймаємо $T_r = 750$ К. [3] стор.125.

м) Коефіцієнт закруглення індикаторної діаграми.

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

н) Показник політропи стиску в компресорі.

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

					ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ	Лист
						18
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2 Розрахунок робочого процесу газового двигуна.

1. Умова завдання:

Ефективна потужність	$P_e =$	300	кВт
Частота обертання колінчастого валу.	$n =$	1000	хв^{-1}
Діаметр циліндра	$d =$	180	мм
Хід поршня	$S =$	220	мм
Ступінь стиску	$\varepsilon =$	12,1	
Коефіцієнт надлишку повітря	$\alpha =$	1,75	
Число циліндрів	i	6	
Коефіцієнт тактності	$z =$	4	

2. Вихідні дані для теплового розрахунку.

Тиск наддуву	$p_b =$	215	кПа
Тиск навколишнього середовища	$p_a =$	101,3	кПа
Температура навколишнього середовища	$T_a =$	293	К
Показник політропи стиску для відцентрового компресора	$n_k =$	1,6	
Підігрів свіжого заряду	$\Delta T =$	5	К
Тиск залишкових газів	$p_r =$	200	кПа
Температура залишкових газів	$T_r =$	750	К
Ступінь підвищення тиску	$\lambda =$	2,5	
Середнє значення показника політропи:			
стиску	$n_1 =$	1,31	
розширення	$n_2 =$	1,30	
Коефіцієнт використання теплоти в точці "Z"	$\xi_z =$	0,8	
Коефіцієнт повноти індикаторної діаграми	$\xi =$	0,9	
Нижча теплота згорання газу	$Q_H =$	36590	кДж/м ³

Природний газ

Склад:	в %	В об'ємних долях
метан	$\text{CH}_4 =$	95,4 $R_{\text{CH}_4} =$ 0,954
етан	$\text{C}_2\text{H}_6 =$	2,6 $R_{\text{C}_2\text{H}_6} =$ 0,026
пропан	$\text{C}_3\text{H}_8 =$	0,3 $R_{\text{C}_3\text{H}_8} =$ 0,003
бутан	$\text{C}_4\text{H}_{10} =$	0,2 $R_{\text{C}_4\text{H}_{10}} =$ 0,002
пентан	$\text{C}_5\text{H}_{12} =$	0,2 $R_{\text{C}_5\text{H}_{12}} =$ 0,002
вуглекислота	$\text{CO}_2 =$	0,2 $R_{\text{CO}_2} =$ 0,002
оксид вуглецю	$\text{CO} =$	0 $R_{\text{CO}} =$ 0
азот	$\text{N}_2 =$	1,1 $R_{\text{N}_2} =$ 0,011

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

3. Параметри робочого тіла.

Теоретично необхідна кількість повітря для згоряння 1 кмоль газу.

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

$$L_0 = 9,73 \text{ кмоль/кмоль}$$

Загальна кількість продуктів свіжого заряду.

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

$$M_1 = 18,03 \text{ кмоль/кмоль}$$

Кількість окремих компонентів продуктів згоряння.

$$\begin{aligned} \text{Кількість } CO_2: \quad M_{CO_2} &= CO + \sum (n C_n H_m + CO_2), \text{ кмоль} \\ M_{CO_2} &= 1,043 \text{ кмоль} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Кількість } H_2O: \quad M_{H_2O} &= H_2 + \sum (0.5m C_n H_m), \text{ кмоль} \\ M_{H_2O} &= 2,02 \text{ кмоль} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Кількість } O_2: \quad M_{O_2} &= 0.21 \times (\alpha - 1) \times L_0, \text{ кмоль} \\ M_{O_2} &= 1,5323 \text{ кмоль} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Кількість } N_2: \quad M_{N_2} &= 0.79 \times \alpha \times L_0 + N_2, \text{ кмоль} \\ M_{N_2} &= 13,461 \text{ кмоль} \end{aligned}$$

Загальна кількість продуктів згоряння.

$$M_2 = M_{CO_2} + M_{H_2O} + M_{O_2} + M_{N_2}, \text{ кмоль/кг} \quad 18,056 \text{ кмоль}$$

Змінення об'єму при згорянні 1 кмоль газу.

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

$$\Delta M = 0,031 \text{ кмоль}$$

Теоретичний коефіцієнт молекулярної зміни.

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

$$\beta_0 = 1,0017$$

4. Параметри процесу наповнення.

Температура повітря після нагнітача.

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

$$T_B = 388,5 \text{ K}$$

Температура повітря після охолоджувача.

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

$$\text{число з інтервалу} = 30$$

$$\Delta T_{\text{int}} = 358,5 \text{ K}$$

Температура газоповітряної суміші.

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

$$T_{\text{см}} = 322,1 \text{ K}$$

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

Коефіцієнт залишкових газів.

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

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

$$P_d = 204,3 \text{ кПа}$$

$$\gamma_r = 0,038$$

Коефіцієнт наповнення.

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

$$\varphi_n = 0,94$$

Температура газоповітряної суміші на початку стиску.

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

$$T_d = 343 \text{ K}$$

5. Параметри процесу стиску.

Тиск в кінці стиску.

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

$$P_c = 5353,2 \text{ кПа}$$

Температура в кінці стиску.

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

$$T_c = 742,5 \text{ K}$$

$$t_c = 469,5^\circ \text{C}$$

6. Параметри процесу згоряння.

Дійсний коефіцієнт молекулярної зміни.

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

$$\beta = 1,0017$$

Максимальна температура циклу знаходиться з рівняння балансу:

$$\frac{\xi \cdot 224 \cdot Q_H}{(1 + \gamma_r) \cdot (1 + \alpha \cdot L_0)} = \beta_Z \cdot mCp m_Z \cdot t_Z - (mCv m_{cm} + 8.314 \lambda) \cdot t_C$$

склад продуктів згорання в об'ємних долях:

$$R_{CO_2} = \frac{MCO_2}{M_2}$$

$$R_{CO_2} = 0,0578$$

$$R_{CO_2} = \frac{MH_2O}{M_2}$$

$$R_{H_2O} = 0,1119$$

$$R_{O_2} = \frac{MO_2}{M_2}$$

$$R_{O_2} = 0,0849$$

$$R_{N_2} = \frac{MN_2}{M_2}$$

$$R_{N_2} = 0,7455$$

Мольна теплоємність продуктів згорання:

$$mCv_{me} = R_{O_2} \cdot mCv_{O_2} + R_{N_2} \cdot mCv_{N_2} + R_{H_2O} \cdot mCv_{H_2O} + R_{CO_2} \cdot mCv_{CO_2}$$

$$\text{для } O_2: mCv_{O_2} = 19,818 + 418,6 \cdot 10^{-5} \cdot t_Z$$

$$\text{для } N_2: mCv_{N_2} = 19,818 + 418,6 \cdot 10^{-5} \cdot t_Z$$

$$\text{для } CO_2: mCv_{CO_2} = 30,05 + 1255,8 \cdot 10^{-5} \cdot t_Z$$

$$\text{для } H_2O: mCv_{H_2O} = 22,416 + 1004,6 \cdot 10^{-5} \cdot t_Z$$

Після підстановки одержимо рівняння.

$$mCv_{me} = a + b \cdot 10^{-5} \cdot t_Z$$

де:

$$a = 22,33$$

$$b = 600,47$$

теплоємність газового палива.

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

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

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

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

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

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

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

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

Після підстановки одержимо рівняння.

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

де:

$$a = 12,60$$

$$b = 5237,536$$

мольна теплоємність газоповітряної суміші при постійному об'ємі.

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

Після підстановки одержимо рівняння.

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

де:

$$a = 20,04$$

$$b = 492,59$$

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

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

Після підстановки одержимо рівняння.

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

де:

$$a = 20,04$$

$$b = 246,30$$

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

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

Після підстановки одержимо рівняння.

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

де:

$$a = 29,134$$

$$b = 532,729$$

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

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

$$a = 29,134$$

$$b = 266,364$$

Максимальна температура процесу згоряння.

Після підстановки одержимо квадратне рівняння.

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

де:

$$A = 266,805$$

$$B = 29,182$$

$$C = 54527,16 \quad 81263,2$$

Звідки:

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

$$t_z = 1626,6 \text{ C} \quad T_z = 1899,6 \text{ K}$$

Максимальний тиск згоряння.

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

$$p_{\max} = 13718,8 \text{ кПа}$$

Ступінь підвищення тиску

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

$$\lambda = 2,56$$

$$\Delta \lambda = 2,51 \%$$

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

Ступінь попереднього розширення.

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

$$\rho = 1$$

7. Параметри процесу розширення.
Ступінь подальшого розширення.

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

$$\delta = 12,1$$

Тиск в кінці розширення.

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

$$p_{\text{в}} = 536,7 \text{ кПа}$$

Температура в кінці розширення.

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

$$T_{\text{в}} = 899,1 \text{ К}$$

Середня температура випускних газів.

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

$$T_{\text{ср.г.}} = 726,0 \text{ К}$$

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

Температура залишкових газів.

$$T_{\text{г}} = \frac{T_{\text{в}}}{\sqrt{\frac{P_{\text{в}}}{P_{\text{г}}}}}$$

$$T_{\text{г}} = 647,1 \text{ К}$$

$$\text{Перевірка: } \frac{|T_{r^3} - T_{\text{г}}|}{T_{r^3}} \times 100 \% = 13,73 \%$$

8. Індикаторні показники робочого процесу.
Середній теоретичний індикаторний тиск.

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

$$P_{mi} = 1199,05 \text{ кПа}$$

Індикаторний ККД.

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

$$\eta_i = 0,37$$

Питома індикаторна витрата газу.

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

$$g_i = 0,27 \text{ м}^3 / (квт \cdot год)$$

9 Ефективні показники робочого циклу.

Середній тиск механічних втрат.

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

Середня швидкість поршня.

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

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

$$V_{п.ср.} = 7,33333 \text{ м/с}$$

$$P_M = 122,2 \text{ кПа}$$

Середній ефективний тиск.

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

$$P_{me} = 1076,88 \text{ кПа}$$

Механічний К.К.Д.

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

$$\eta_M = 0,90$$

Ефективний К.К.Д.

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

$$\eta_e = 0,331$$

Питома ефективна витрата газу.

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

$$b_e = 0,297 \text{ м}^3/(\text{кВт} \cdot \text{год})$$

Годинна витрата газу.

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

$$B = 89,1 \text{ м}^3/\text{год}$$

10 Основні розміри циліндра і двигуна.

Літраж двигуна.

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

$Z = 4$ - Коефіцієнт тактності.

$$V_{st} = 33,43 \text{ Л}$$

$$V_s = \frac{V_{st}}{i}, \text{ Л}$$

$$V_s = 5,57 \text{ Л}$$

Діаметр циліндра.

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

$$m = \frac{S_{пп}}{d_{пп}}$$

$$d_{пп} = 0,18 \text{ м}$$

$$m = 1,222222$$

$$d = 179,7 \text{ мм}$$

Хід поршня.

$$S = m \times d, \text{ мм}$$

$$S = 219,7 \text{ мм}$$

11 Уточнені розміри циліндра двигуна.

Діаметр циліндра.

$$d = 180 \text{ мм}$$

Хід поршня.

$$S = 220 \text{ мм}$$

Літраж двигуна.

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

$$V_{st} = 33,57 \text{ л}$$

Робочий об'єм ходу поршня.

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

$$V_s = 5,60 \text{ л}$$

Ефективна потужність двигуна.

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

$$P_{ep} = 301,3 \text{ кВт}$$

Отримана величина P_{ep} відрізняється від заданої на:

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

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

$$P_{ep} = 300,6 \text{ кВт}$$

$$\Delta P_e = 0,43 \%$$

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

2.3 Розрахунок індикаторної діаграми.

Розрахунок теоретичної індикаторної діаграми.

Вихідні дані

$P_{mi} =$	1,199 МПа	Середній індикаторний тиск.
$P_d =$	0,2043 МПа	Тиск в кінці впуску.
$n_1 =$	1,310	Показник політропи стиску.
$\varepsilon_c =$	12,100	Ступінь стиску.
$P_{max} =$	13,719 МПа	Максимальний тиск в циліндрі.
$n_2 =$	1,300	Показник політропи розширення.
$\rho =$	1,000	Ступінь попереднього розширення.
$m_p =$	0,050 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	5,353	107,1	13,719	274,4	8,366
1,25	3,996	79,9	10,264	205,3	6,268
1,5	3,147	62,9	8,098	162,0	4,951
1,75	2,572	51,4	6,628	132,6	4,056
2	2,159	43,2	5,572	111,4	3,413
3	1,269	25,4	3,289	65,8	2,020
4	0,871	17,4	2,263	45,3	1,392
5	0,650	13,0	1,693	33,9	1,043
6	0,512	10,2	1,336	26,7	0,824
7	0,418	8,4	1,093	21,9	0,675
8	0,351	7,0	0,919	18,4	0,568
9	0,301	6,0	0,788	15,8	0,488
10	0,262	5,2	0,688	13,8	0,425
11	0,231	4,6	0,607	12,1	0,376
12	0,206	4,1	0,542	10,8	0,336
12,1	0,204	4,1	0,537	10,7	0,332
$P_{mi}^{\pi} =$					1,249

Об'єм камери згорання

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

$$V_s = [AB] = 222 \text{ мм}$$

$$V_c = 20 \text{ мм}$$

Приведений робочий об'єм

Похибка середнього індикаторного тиску.

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

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

$$P_{mi \text{ ср}} = 1,224 \text{ МПа}$$

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

Похибка не перевищує 5%

Побудова дійсної індикаторної діаграми.

$C', \text{ДоВМТ}$	точка подачі іскри.
$f, \text{ДоВМТ}$	Визначається кутом випередження запалювання точка початку згорання, визначається кутом затримки згорання: $\Delta\varphi_1 =,^0 \text{ ПКВ}$
$\Delta\varphi_2, \text{ПісляВМТ}$	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.

$\lambda_L =$	0,278		Кривошипно-шатунне відношення.
$[AB] =$	222	мм	Відстань від ВМТ до НМТ на діаграмі.
$\Delta\varphi_1 =$	10	$^0 \text{ ПКВ}$	Кут затримки згорання.
$P_r =$	0,200	МПа	Тиск залишкових газів.
$m_p =$	0,050	МПа/мм	Масштаб тиску.
$S =$	220	мм	Хід поршня.
$P_c =$	5,353	МПа	Тиск в кінці стиску.
$P_{\max} =$	13,719	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	0,043	4,8
$f, \text{ДоВМТ}$	5	0,005	0,5
$\Delta\varphi_2, \text{ПісляВМТ}$	10	0,019	2,2
$b', \text{ПісляВМТ}$	130	1,724	191,4
$r', \text{ДоВМТ}$	10	0,019	2,2
$r'', \text{ПісляВМТ}$	30	0,169	18,7
$d', \text{ДоВМТ}$	150	1,901	211,0

Ордината точки г

$$\frac{P_r}{m_p}, \text{ мм} \quad 4,0 \quad \text{мм}$$

Тиск газів в ВМТ.

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

1,2 Число з інтервалу.

$$\begin{aligned} P_c'' &= 6,42 & \text{МПа} \\ P_c'' &= 128,5 & \text{мм} \end{aligned}$$

Максимальний тиск згорання.

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

$$\begin{aligned} P_{zd} &= 11,66 & \text{МПа} \\ P_{zd} &= 233 & \text{мм} \end{aligned}$$

Поправка Брікса

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

$$OO' = 21,3 \quad \text{мм}$$

Масштаб переміщення

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

$$M_s = 1,53$$

Поправка Брікса в масштабі переміщення

$$OO = \frac{OO'}{M_s}, \text{ мм}$$

$$OO = 13,9 \quad \text{мм}$$

2.2 Розрахунок робочого процесу газового двигуна.

1. Умова завдання:

Ефективна потужність	$P_e =$	300	кВт
Частота обертання колінчастого валу.	$n =$	1000	хв^{-1}
Діаметр циліндра	$d =$	180	мм
Хід поршня	$S =$	220	мм
Ступінь стиску	$\varepsilon =$	12,1	
Коефіцієнт надлишку повітря	$\alpha =$	1,75	
Число циліндрів	i	6	
Коефіцієнт тактності	$z =$	4	

2. Вихідні дані для теплового розрахунку.

Тиск наддуву	$p_b =$	215	кПа
Тиск навколишнього середовища	$p_a =$	101,3	кПа
Температура навколишнього середовища	$T_a =$	293	К
Показник політропи стиску для відцентрового компресора	$n_k =$	1,6	
Підігрів свіжого заряду	$\Delta T =$	5	К
Тиск залишкових газів	$p_r =$	200	кПа
Температура залишкових газів	$T_r =$	750	К
Ступінь підвищення тиску	$\lambda =$	2,5	
Середнє значення показника політропи:			
стиску	$n_1 =$	1,31	
розширення	$n_2 =$	1,30	
Коефіцієнт використання теплоти в точці "Z"	$\xi_z =$	0,8	
Коефіцієнт повноти індикаторної діаграми	$\xi =$	0,9	
Нижча теплота згорання газу	$Q_H =$	36590	кДж/м ³

Природний газ

Склад:	в %	В об'ємних долях
метан	$\text{CH}_4 =$	95,4 $R_{\text{CH}_4} =$ 0,954
етан	$\text{C}_2\text{H}_6 =$	2,6 $R_{\text{C}_2\text{H}_6} =$ 0,026
пропан	$\text{C}_3\text{H}_8 =$	0,3 $R_{\text{C}_3\text{H}_8} =$ 0,003
бутан	$\text{C}_4\text{H}_{10} =$	0,2 $R_{\text{C}_4\text{H}_{10}} =$ 0,002
пентан	$\text{C}_5\text{H}_{12} =$	0,2 $R_{\text{C}_5\text{H}_{12}} =$ 0,002
вуглекислота	$\text{CO}_2 =$	0,2 $R_{\text{CO}_2} =$ 0,002
оксид вуглецю	$\text{CO} =$	0 $R_{\text{CO}} =$ 0
азот	$\text{N}_2 =$	1,1 $R_{\text{N}_2} =$ 0,011

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

3. Параметри робочого тіла.

Теоретично необхідна кількість повітря для згоряння 1 кмоль газу.

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

$$L_0 = 9,73 \text{ кмоль/кмоль}$$

Загальна кількість продуктів свіжого заряду.

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

$$M_1 = 18,03 \text{ кмоль/кмоль}$$

Кількість окремих компонентів продуктів згоряння.

$$\begin{aligned} \text{Кількість } CO_2: \quad M_{CO_2} &= CO + \sum (n C_n H_m + CO_2), \text{ кмоль} \\ M_{CO_2} &= 1,043 \text{ кмоль} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Кількість } H_2O: \quad M_{H_2O} &= H_2 + \sum (0.5m C_n H_m), \text{ кмоль} \\ M_{H_2O} &= 2,02 \text{ кмоль} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Кількість } O_2: \quad M_{O_2} &= 0.21 \times (\alpha - 1) \times L_0, \text{ кмоль} \\ M_{O_2} &= 1,5323 \text{ кмоль} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Кількість } N_2: \quad M_{N_2} &= 0.79 \times \alpha \times L_0 + N_2, \text{ кмоль} \\ M_{N_2} &= 13,461 \text{ кмоль} \end{aligned}$$

Загальна кількість продуктів згоряння.

$$M_2 = M_{CO_2} + M_{H_2O} + M_{O_2} + M_{N_2}, \text{ кмоль/кг} \quad 18,056 \text{ кмоль}$$

Змінення об'єму при згорянні 1 кмоль газу.

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

$$\Delta M = 0,031 \text{ кмоль}$$

Теоретичний коефіцієнт молекулярної зміни.

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

$$\beta_0 = 1,0017$$

4. Параметри процесу наповнення.

Температура повітря після нагнітача.

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

$$T_B = 388,5 \text{ K}$$

Температура повітря після охолоджувача.

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

$$\text{число з інтервалу} = 30$$

$$\Delta T_{\text{int}} = 358,5 \text{ K}$$

Температура газоповітряної суміші.

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

$$T_{\text{см}} = 322,1 \text{ K}$$

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

Коефіцієнт залишкових газів.

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

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

$$P_d = 204,3 \text{ кПа}$$

$$\gamma_r = 0,038$$

Коефіцієнт наповнення.

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

$$\varphi_n = 0,94$$

Температура газоповітряної суміші на початку стиску.

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

$$T_d = 343 \text{ K}$$

5. Параметри процесу стиску.

Тиск в кінці стиску.

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

$$P_c = 5353,2 \text{ кПа}$$

Температура в кінці стиску.

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

$$T_c = 742,5 \text{ K}$$

$$t_c = 469,5^\circ \text{C}$$

6. Параметри процесу згоряння.

Дійсний коефіцієнт молекулярної зміни.

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

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

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

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

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

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

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

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

Після підстановки одержимо рівняння.

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

де:

$$a = 12,60$$

$$b = 5237,536$$

мольна теплоємність газоповітряної суміші при постійному об'ємі.

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

Після підстановки одержимо рівняння.

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

де:

$$a = 20,04$$

$$b = 492,59$$

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

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

Після підстановки одержимо рівняння.

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

де:

$$a = 20,04$$

$$b = 246,30$$

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

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

$$\beta = 1,0017$$

Максимальна температура циклу знаходиться з рівняння балансу:

$$\frac{\xi \cdot 224 \cdot Q_H}{(1 + \gamma_r) \cdot (1 + \alpha \cdot L_0)} = \beta_Z \cdot mCp m_Z \cdot t_Z - (mCv m_{cm} + 8.314 \lambda) \cdot t_C$$

склад продуктів згорання в об'ємних долях:

$$R_{CO_2} = \frac{MCO_2}{M_2}$$

$$R_{CO_2} = 0,0578$$

$$R_{CO_2} = \frac{MH_2O}{M_2}$$

$$R_{H_2O} = 0,1119$$

$$R_{O_2} = \frac{MO_2}{M_2}$$

$$R_{O_2} = 0,0849$$

$$R_{N_2} = \frac{MN_2}{M_2}$$

$$R_{N_2} = 0,7455$$

Мольна теплоємність продуктів згорання:

$$mCv_{me} = R_{O_2} \cdot mCv_{O_2} + R_{N_2} \cdot mCv_{N_2} + R_{H_2O} \cdot mCv_{H_2O} + R_{CO_2} \cdot mCv_{CO_2}$$

$$\text{для } O_2: mCv_{O_2} = 19,818 + 418,6 \cdot 10^{-5} \cdot t_Z$$

$$\text{для } N_2: mCv_{N_2} = 19,818 + 418,6 \cdot 10^{-5} \cdot t_Z$$

$$\text{для } CO_2: mCv_{CO_2} = 30,05 + 1255,8 \cdot 10^{-5} \cdot t_Z$$

$$\text{для } H_2O: mCv_{H_2O} = 22,416 + 1004,6 \cdot 10^{-5} \cdot t_Z$$

Після підстановки одержимо рівняння.

$$mCv_{me} = a + b \cdot 10^{-5} \cdot t_Z$$

де:

$$a = 22,33$$

$$b = 600,47$$

теплоємність газового палива.

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

Після підстановки одержимо рівняння.

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

де:

$$a = 29,134$$

$$b = 532,729$$

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

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

$$a = 29,134$$

$$b = 266,364$$

Максимальна температура процесу згоряння.

Після підстановки одержимо квадратне рівняння.

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

де:

$$A = 266,805$$

$$B = 29,182$$

$$C = 54527,16 \quad 81263,2$$

Звідки:

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

$$t_z = 1626,6 \text{ C} \quad T_z = 1899,6 \text{ K}$$

Максимальний тиск згоряння.

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

$$p_{\max} = 13718,8 \text{ кПа}$$

Ступінь підвищення тиску

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

$$\lambda = 2,56$$

$$\Delta \lambda = 2,51 \%$$

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

Ступінь попереднього розширення.

$$P_{mi} = 1199,05 \text{ кПа}$$

Індикаторний ККД.

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

$$\eta_i = 0,37$$

Питома індикаторна витрата газу.

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

$$g_i = 0,27 \text{ м}^3 / (квт \cdot год)$$

9 Ефективні показники робочого циклу.

Середній тиск механічних втрат.

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

Середня швидкість поршня.

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

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

$$V_{п.ср.} = 7,33333 \text{ м/с}$$

$$P_M = 122,2 \text{ кПа}$$

Середній ефективний тиск.

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

$$P_{me} = 1076,88 \text{ кПа}$$

Механічний К.К.Д.

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

$$\eta_M = 0,90$$

Ефективний К.К.Д.

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

$$\eta_e = 0,331$$

Питома ефективна витрата газу.

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

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

$$\rho = 1$$

7. Параметри процесу розширення.
Ступінь подальшого розширення.

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

$$\delta = 12,1$$

Тиск в кінці розширення.

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

$$p_{\varepsilon} = 536,7 \text{ кПа}$$

Температура в кінці розширення.

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

$$T_{\varepsilon} = 899,1 \text{ К}$$

Середня температура випускних газів.

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

$$T_{\text{ср.г.}} = 726,0 \text{ К}$$

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

Температура залишкових газів.

$$T_r = \frac{T_{\varepsilon}}{\sqrt{\frac{p_{\varepsilon}}{p_r}}}$$

$$T_r = 647,1 \text{ К}$$

$$\frac{|T_{r^3} - T_r|}{T_{r^3}} \times 100 \% = 13,73 \%$$

Перевірка:

8. Індикаторні показники робочого процесу.
Середній теоретичний індикаторний тиск.

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

$$b_e = 0,297 \text{ м}^3/(\text{кВт}\cdot\text{год})$$

Годинна витрата газу.

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

$$B = 89,1 \text{ м}^3/\text{год}$$

10 Основні розміри циліндра і двигуна.

Літраж двигуна.

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

$Z = 4$ - Коефіцієнт тактності.

$$V_{st} = 33,43 \text{ Л}$$

$$V_s = \frac{V_{st}}{i}, \text{ Л}$$

$$V_s = 5,57 \text{ Л}$$

Діаметр циліндра.

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

$$m = \frac{S_{пп}}{d_{пп}}$$

$$d_{пп} = 0,18 \text{ м}$$

$$m = 1,222222$$

$$d = 179,7 \text{ мм}$$

Хід поршня.

$$S = m \times d, \text{ мм}$$

$$S = 219,7 \text{ мм}$$

11 Уточнені розміри циліндра двигуна.

Діаметр циліндра.

$$d = 180 \text{ мм}$$

Хід поршня.

$$S = 220 \text{ мм}$$

Літраж двигуна.

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

$$V_{st} = 33,57 \text{ л}$$

Робочий об'єм ходу поршня.

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

$$V_s = 5,60 \text{ л}$$

Ефективна потужність двигуна.

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

$$P_{ep} = 301,3 \text{ кВт}$$

Отримана величина P_{ep} відрізняється від заданої на:

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

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

$$P_{ep} = 300,6 \text{ кВт}$$

$$\Delta P_e = 0,43 \%$$

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

2.4 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:

$d=$	0,18	м - діаметр циліндра
$s=$	0,22	м - хід поршня
$\lambda_L=$	0,278	- кривошипно-шатунне відношення
$r=$	0,11	м - радіус кривошипа
$n=$	1000	хв^{-1} - частота обертання
$m_s=$	17,8	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

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

$$\omega = 104,7 \quad \text{с}^{-1}$$

Площа днища поршня

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

$$A = 0,025 \quad \text{м}^2$$

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).

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

Робочий об'єм

$$V_s = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot S = 0,00560 \text{ м}^3$$

Об'єм камери сгорання

$$V_c = \frac{V_s}{\varepsilon - 1} = 0,00070 \text{ м}^3$$

Повний об'єм

$$V_a = V_s + V_c = 0,006295 \text{ м}^3$$

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

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

Нормальна сила.

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

Радіальна сила.

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

Дотична сила.

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

Сила інерції мас, що рухаються обертально.

$$F_{u\text{ об}} = -m_R r \omega^2, H$$

$$F_{\text{иоб}} = -7,6 \quad \text{кН}$$

$$F_{\text{иоб}} = -7,6 \quad \text{мм}$$

Маса деталей, що рухаються обертально

$$m_R = 6,30 \quad \text{кг}$$

Тиск газів в залежності від кута повороту колінчастого вала

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

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

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

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

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

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

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

Таблиця 2.5

Результати динамічного розрахунку.

φ°	Vf	F _Г	F _И	F _д	F _N	F _г	F _к	F _Г	F _И	F _д	F _N	F _г	F _к
ПКВ	мЗ	кН	кН	кН	кН	кН	кН	мм	мм	мм	мм	мм	мм
0	0,0007	2,618	-27,376	-24,758	0,000	-24,758	0,000	2,62	-27,38	-24,76	0,00	-24,76	0,00
10	0,0008	2,618	-26,692	-24,073	-1,158	-23,506	-5,326	2,62	-26,69	-24,07	-1,16	-23,51	-5,33
20	0,0009	2,618	-24,691	-22,073	-2,067	-20,021	-9,530	2,62	-24,69	-22,07	-2,07	-20,02	-9,53
30	0,0012	2,618	-21,529	-18,910	-2,543	-15,050	-11,754	2,62	-21,53	-18,91	-2,54	-15,05	-11,75
40	0,0015	2,618	-17,444	-14,825	-2,506	-9,626	-11,592	2,62	-17,44	-14,83	-2,51	-9,63	-11,59
50	0,0019	2,618	-12,735	-10,117	-1,987	-4,814	-9,167	2,62	-12,74	-10,12	-1,99	-4,81	-9,17
60	0,0024	2,618	-7,733	-5,115	-1,108	-1,459	-5,064	2,62	-7,73	-5,11	-1,11	-1,46	-5,06
70	0,0029	2,618	-2,765	-0,146	-0,034	-0,013	-0,151	2,62	-2,76	-0,15	-0,03	-0,01	-0,15
80	0,0034	2,618	1,876	4,495	1,070	-0,479	4,649	2,62	1,88	4,49	1,07	-0,48	4,65
90	0,0039	2,618	5,955	8,574	2,063	-2,481	8,574	2,62	5,96	8,57	2,06	-2,48	8,57
100	0,0044	2,618	9,316	11,934	2,841	-5,418	11,163	2,62	9,32	11,93	2,84	-5,42	11,16
110	0,0048	2,618	11,888	14,507	3,341	-8,651	12,289	2,62	11,89	14,51	3,34	-8,65	12,29
120	0,0052	2,618	13,688	16,307	3,533	-11,656	12,099	2,62	13,69	16,31	3,53	-11,66	12,10
130	0,0055	2,618	14,803	17,422	3,422	-14,107	10,905	2,62	14,80	17,42	3,42	-14,11	10,91
140	0,0058	2,618	15,375	17,994	3,041	-15,885	9,063	2,62	15,38	17,99	3,04	-15,88	9,06
150	0,006	2,618	15,574	18,192	2,446	-17,032	6,885	2,62	15,57	18,19	2,45	-17,03	6,88
160	0,0062	2,618	15,567	18,186	1,703	-17,683	4,588	2,62	15,57	18,19	1,70	-17,68	4,59
170	0,0063	2,618	15,500	18,118	0,871	-17,995	2,284	2,62	15,50	18,12	0,87	-18,00	2,28
180	0,0063	2,618	15,466	18,085	0,000	-18,085	0,000	2,62	15,47	18,08	0,00	-18,08	0,00
190	0,0063	2,652	15,500	18,152	-0,873	-18,028	-2,288	2,65	15,50	18,15	-0,87	-18,03	-2,29
200	0,0062	2,755	15,567	18,322	-1,716	-17,816	-4,622	2,75	15,57	18,32	-1,72	-17,82	-4,62
210	0,006	2,935	15,574	18,508	-2,489	-17,328	-7,004	2,93	15,57	18,51	-2,49	-17,33	-7,00
220	0,0058	3,205	15,375	18,581	-3,140	-16,403	-9,358	3,21	15,38	18,58	-3,14	-16,40	-9,36
230	0,0055	3,588	14,803	18,392	-3,612	-14,893	-11,512	3,59	14,80	18,39	-3,61	-14,89	-11,51
240	0,0052	4,117	13,688	17,805	-3,858	-12,727	-13,211	4,12	13,69	17,80	-3,86	-12,73	-13,21

Продовження таблиці 2.5

250	0,0048	4,839	11,888	16,727	-3,853	-9,975	-14,170	4,84	11,89	16,73	-3,85	-9,97	-14,17
260	0,0044	5,828	9,316	15,144	-3,606	-6,875	-14,165	5,83	9,32	15,14	-3,61	-6,87	-14,17
270	0,0039	7,196	5,955	13,151	-3,164	-3,806	-13,151	7,20	5,96	13,15	-3,16	-3,81	-13,15
280	0,0034	9,117	1,876	10,993	-2,617	-1,173	-11,370	9,12	1,88	10,99	-2,62	-1,17	-11,37
290	0,0029	11,869	-2,765	9,104	-2,097	0,799	-9,398	11,87	-2,76	9,10	-2,10	0,80	-9,40
300	0,0024	15,897	-7,733	8,164	-1,769	2,328	-8,083	15,90	-7,73	8,16	-1,77	2,33	-8,08
310	0,0019	21,917	-12,735	9,182	-1,803	4,369	-8,320	21,92	-12,74	9,18	-1,80	4,37	-8,32
320	0,0015	31,000	-17,444	13,557	-2,291	8,802	-10,600	31,00	-17,44	13,56	-2,29	8,80	-10,60
330	0,0012	44,436	-21,529	22,907	-3,081	18,230	-14,238	44,44	-21,53	22,91	-3,08	18,23	-14,24
340	0,0009	62,531	-24,691	37,840	-3,544	34,322	-16,338	62,53	-24,69	37,84	-3,54	34,32	-16,34
350	0,0008	81,205	-26,692	54,514	-2,621	53,228	-12,061	81,21	-26,69	54,51	-2,62	53,23	-12,06
360	0,0007	242,538	-27,376	215,162	0,000	215,162	0,000	242,54	-27,38	215,16	0,00	215,16	0,00
370	0,0008	348,924	-26,692	322,232	15,495	314,633	71,292	348,92	-26,69	322,23	15,50	314,63	71,29
380	0,0009	243,306	-24,691	218,615	20,473	198,289	94,392	243,31	-24,69	218,62	20,47	198,29	94,39
390	0,0012	174,968	-21,529	153,439	20,634	122,113	95,371	174,97	-21,53	153,44	20,63	122,11	95,37
400	0,0015	124,229	-17,444	106,785	18,047	69,336	83,497	124,23	-17,44	106,79	18,05	69,34	83,50
410	0,0019	89,924	-12,735	77,189	15,161	36,728	69,945	89,92	-12,74	77,19	15,16	36,73	69,94
420	0,0024	67,192	-7,733	59,458	12,884	16,956	58,867	67,19	-7,73	59,46	12,88	16,96	58,87
430	0,0029	51,976	-2,765	49,212	11,335	4,316	50,799	51,98	-2,76	49,21	11,33	4,32	50,80
440	0,0034	41,584	1,876	43,461	10,348	-4,636	44,949	41,58	1,88	43,46	10,35	-4,64	44,95
450	0,0039	34,329	5,955	40,284	9,693	-11,659	40,284	34,33	5,96	40,28	9,69	-11,66	40,28
460	0,0044	29,163	9,316	38,479	9,162	-17,468	35,992	29,16	9,32	38,48	9,16	-17,47	35,99
470	0,0048	25,428	11,888	37,316	8,595	-22,253	31,612	25,43	11,89	37,32	8,59	-22,25	31,61
480	0,0052	22,701	13,688	36,389	7,885	-26,012	27,001	22,70	13,69	36,39	7,88	-26,01	27,00
490	0,0055	20,706	14,803	35,509	6,975	-28,754	22,227	20,71	14,80	35,51	6,97	-28,75	22,23
500	0,0058	19,259	15,375	34,634	5,853	-30,575	17,444	19,26	15,38	34,63	5,85	-30,57	17,44
510	0,006	18,236	15,574	33,810	4,547	-31,653	12,795	18,24	15,57	33,81	4,55	-31,65	12,80
520	0,0062	17,557	15,567	33,125	3,102	-32,209	8,356	17,56	15,57	33,12	3,10	-32,21	8,36
530	0,0063	17,169	15,500	32,669	1,571	-32,446	4,118	17,17	15,50	32,67	1,57	-32,45	4,12

Продовження таблиці 2.5

540	0,0063	6,846	15,466	22,312	0,000	-22,312	0,000	6,85	15,47	22,31	0,00	-22,31	0,00
550	0,0063	2,510	15,500	18,010	-0,866	-17,888	-2,270	2,51	15,50	18,01	-0,87	-17,89	-2,27
560	0,0062	2,510	15,567	18,078	-1,693	-17,578	-4,560	2,51	15,57	18,08	-1,69	-17,58	-4,56
570	0,006	2,510	15,574	18,084	-2,432	-16,930	-6,844	2,51	15,57	18,08	-2,43	-16,93	-6,84
580	0,0058	2,510	15,375	17,886	-3,023	-15,789	-9,008	2,51	15,38	17,89	-3,02	-15,79	-9,01
590	0,0055	2,510	14,803	17,314	-3,401	-14,020	-10,837	2,51	14,80	17,31	-3,40	-14,02	-10,84
600	0,0052	2,510	13,688	16,198	-3,510	-11,579	-12,019	2,51	13,69	16,20	-3,51	-11,58	-12,02
610	0,0048	2,510	11,888	14,399	-3,316	-8,586	-12,198	2,51	11,89	14,40	-3,32	-8,59	-12,20
620	0,0044	2,510	9,316	11,826	-2,816	-5,369	-11,062	2,51	9,32	11,83	-2,82	-5,37	-11,06
630	0,0039	2,510	5,955	8,465	-2,037	-2,450	-8,465	2,51	5,96	8,47	-2,04	-2,45	-8,47
640	0,0034	2,510	1,876	4,387	-1,044	-0,468	-4,537	2,51	1,88	4,39	-1,04	-0,47	-4,54
650	0,0029	2,510	-2,765	-0,254	0,059	-0,022	0,262	2,51	-2,76	-0,25	0,06	-0,02	0,26
660	0,0024	2,510	-7,733	-5,223	1,132	-1,489	5,171	2,51	-7,73	-5,22	1,13	-1,49	5,17
670	0,0019	2,510	-12,735	-10,225	2,008	-4,865	9,265	2,51	-12,74	-10,22	2,01	-4,87	9,27
680	0,0015	2,510	-17,444	-14,933	2,524	-9,696	11,677	2,51	-17,44	-14,93	2,52	-9,70	11,68
690	0,0012	2,510	-21,529	-19,019	2,558	-15,136	11,821	2,51	-21,53	-19,02	2,56	-15,14	11,82
700	0,0009	2,510	-24,691	-22,181	2,077	-20,119	9,577	2,51	-24,69	-22,18	2,08	-20,12	9,58
710	0,0008	2,510	-26,692	-24,181	1,163	-23,611	5,350	2,51	-26,69	-24,18	1,16	-23,61	5,35
720	0,0007	2,510	-27,376	-24,866	0,000	-24,866	0,000	2,51	-27,38	-24,87	0,00	-24,87	0,00

3. НАУКОВИЙ РОЗДІЛ

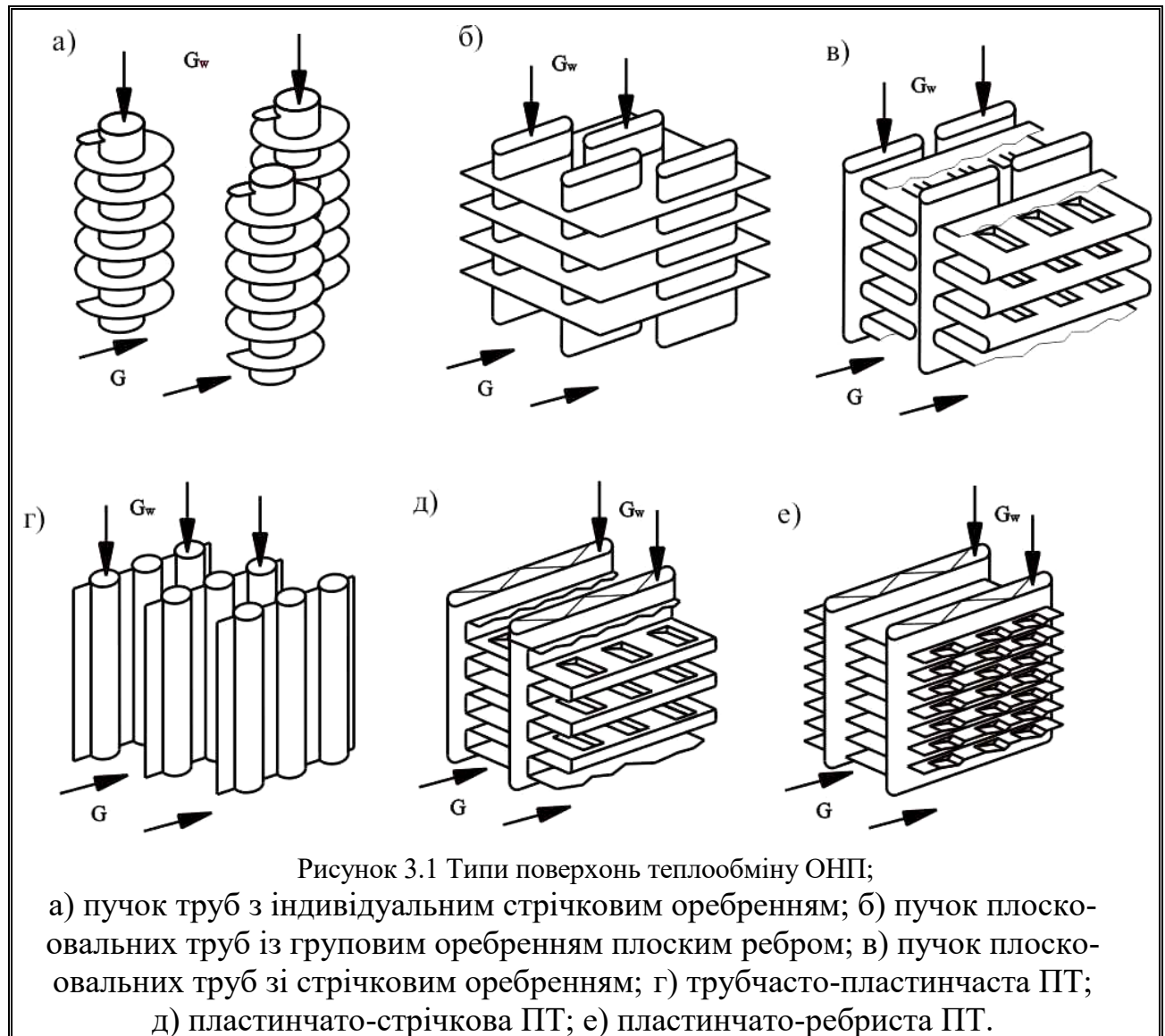
3.1 Загальні відомості про ОНП.

Охолоджувачі наддувного повітря ДВЗ є рекуперативними теплообмінниками (у них теплопередача організована через стінку, що розділяє теплоносії). Поверхня теплообміну (ПТ) у цих теплообмінниках, звичайно, виконується оребреною з боку повітря і гладкою з боку води. Такі ПТ можуть бути створені на базі різних конструктивних елементів і, відповідно, значно відрізнятися між собою. Можна запропонувати класифікацію ПТ, на основі якої вони різняться по виду й типу. Тип ПТ визначається по особливостях конструкції її основного елемента. Зокрема, бувають ПТ трубчасті, трубчасто-пластинчасті, пластинчасті, листоканальні та ін. Усередині кожного типу ПТ розрізняють по виду. Відповідно, трубчасті ПТ можуть бути виконані у вигляді коридорних пучків круглих труб із шайбовим або стрічковим індивідуальним оребренням. Можливе виконання трубчастих ПТ у вигляді шахових пучків круглих труб з індивідуальним стрічковим або шайбовим оребренням. Відомі види трубчастих ПТ із плоскоовальних труб із груповим оребренням плоскими пластинами або з груповим оребренням фігурно-штампованими розсіченими пластинами і т.д. і т.п. Пластинчасті ПТ можуть по виду бути оребреними або гладкоканальними. Вид оребрення може бути дуже різноманітним, зокрема, можливе оребрення суцільною пластиною, зрушено-розсічене оребрення, штамповане-деформоване і т.п. Деяке представлення про варіанти сучасних ПТ для ОНП дає Рисунок 4.3.1.

					ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ	Лист
						43
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.2 Розрахунки теплообмінників.

Із різних ПТ мають істотні розходження в алгоритмах, що зв'язано з особливостями геометрій відповідних ПТ. Одночасно для всіх можливих варіантів ПТ є і спільні елементи розрахунків.



При розрахунках шахових пучків труб з індивідуальним накатним оребренням використовують основні розрахункові розміри, зазначені на малюнку 3.1 Ряд цих розмірів безпосередньо використовується в

наступних розрахунках. Одночасно на їхній основі обчислюються характерні геометричні розмірні й безрозмірні комплексні параметри. Використання деяких розмірів має потребу в поясненні.

Так, слід зазначити розходження між габаритними розмірами пучка $L_{\text{п}}, B_{\text{п}}, H_{\text{п}}$ і його розрахунковими розмірами L, B, H . Перші являються його дійсними конструктивними розмірами, що відмірюються по габаритах пучка.

Пучок з розрахунковими розмірами відрізняється тим, що якщо його розмістити без зазору і зсуву поруч із таким само пучком, то утворений блок не буде мати перекручування геометричної структури ПТ у місці сполучення. Використання пучка з габаритними розмірами в такому ж випадку призведе до перекручування геометричної структури ПТ. Відзначене положення особливо важливо враховувати при дослідженнях модельних пучків. У них на границях пучків і корпуса вставляють спеціальні напівтрубки, щоб зберегти в цих місцях незмінну структуру потоку. Надалі при виконанні розрахунків також варто враховувати зазначену обставину.

Розрахункові розміри виражаються через формули:

$$L = S_2 \cdot Z_2; \quad B = S_1 \cdot Z_1.$$

Габаритна й розрахункова висоти пучка або відстані між трубними дошками збігаються

$$H_{\text{п}} = H.$$

На підставі розмірів, указаних на малюнку 4.3.2, визначаються наступні комплексні розмірні параметри:

$f_{\text{р}}, \text{м}^2/\text{м}$ – площа поверхні ребер, що доводиться на 1 м довжини трубки;

$f_{\text{тр}}, \text{м}^2/\text{м}$ – площа поверхні ділянок гладкої трубки між ребрами на довжині 1 м трубки;

$f_{\text{п}}, \text{м}^2/\text{м}$ – повна площа оребреної поверхні теплообміну трубки, що доводиться на 1 м її довжини;

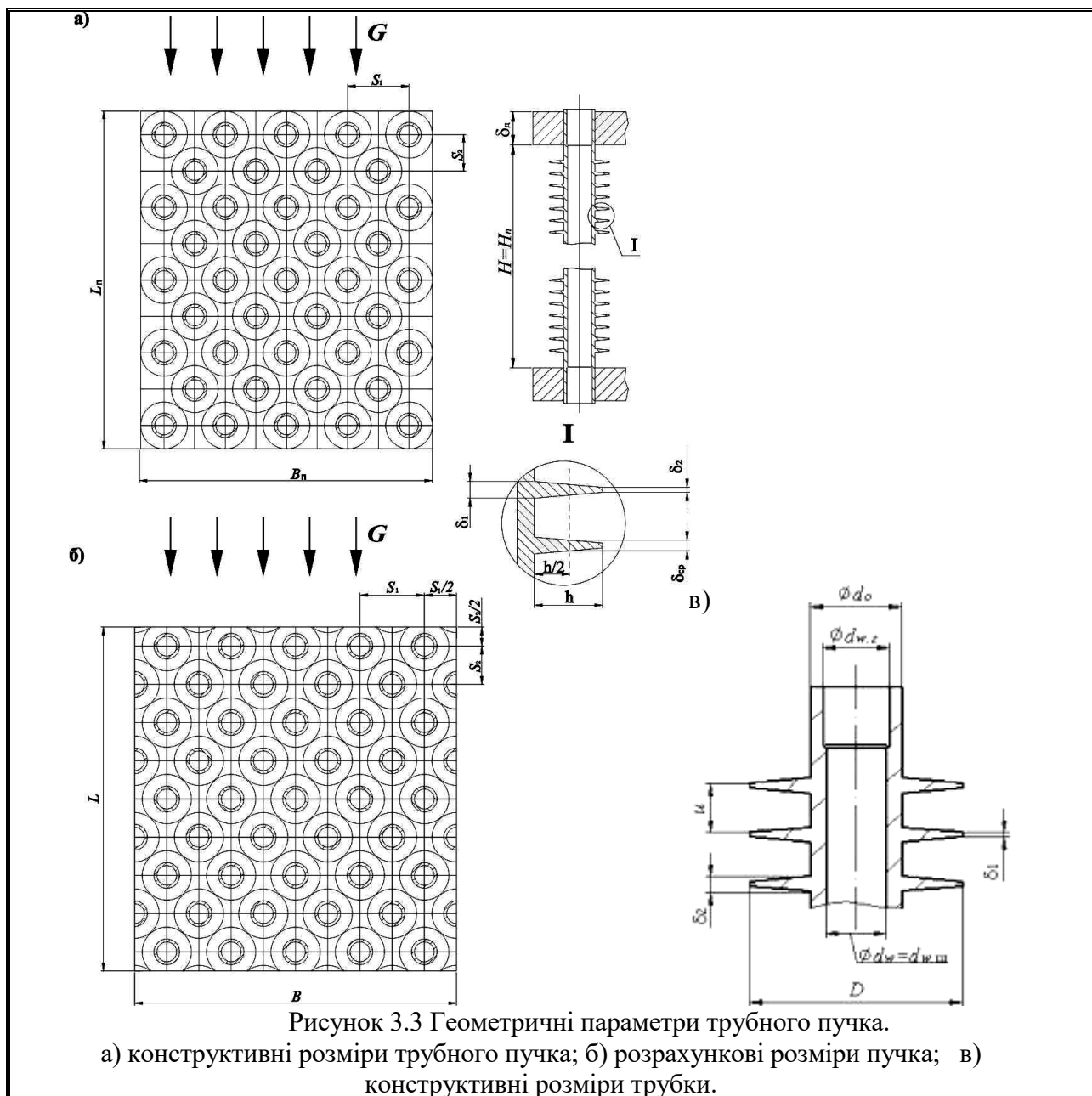
$f_{\text{г}}, \text{м}^2/\text{кг}$ – повна площа оребреної поверхні трубки, що доводиться на одиницю її маси – коефіцієнт масової компактності ПТ;

					ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ	Лист
						45
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

f_v , $\text{м}^2/\text{м}^3$ – коефіцієнт об'ємної компактності ПТ – повна площа поверхні з боку повітря, що доводиться на одиницю об'єму пучка ОНП; теоретично

$$f_v = \frac{F}{L \cdot B \cdot H} = \frac{f_n}{S_1 \cdot S_2} ;$$

F , м^2 , – повна площа оребреної поверхні для усього ОНП із боку повітря; можна розрізняти ідеальне (теоретичне) значення площі F_T і дійсне (конструктивне) значення F_d :



$$F_T = \frac{f_n}{S_1 \cdot S_2} \cdot L \cdot B \cdot H, \quad F_d = f_n \cdot H_n \cdot Z,$$

де Z – загальне число трубок у ОНП;

					ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ	Лист
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

F_T і F_d наближаються за значеннями зі збільшенням абсолютних розмірів ОНП; відповідно значенням F_T і F_d , а також об'ємам $V_T = L \cdot B \cdot H$ і $V_d = L_n \cdot B_n \cdot H_n$ припустимо визначати і застосовувати в розрахунках різні значення f_v – теоретичне (відповідає записаному вище) і дійсне (при використанні конструктивних параметрів пучка);

$F_w, \text{м}^2$ - повна площа неоребреної поверхні з боку води для усього ОНП;

$f, \text{м}^2$ – площа живого перетину пучка для проходження повітря (з боку оребрення);

$f_w, \text{м}^2$ – площа живого перетину пучка ОНП для проходження води (живий перетин одного ходу по воді).

У якості безрозмірних геометричних параметрів використовуються:

σ – коефіцієнт оребрення; $\sigma = F / F_w$;

ϕ – коефіцієнт стиснення повітряного каналу; $\phi = \frac{f}{BH}$;

ϕ_w – коефіцієнт стиснення водяного каналу; $\phi_w = \frac{f_w b_w}{LB}$.

Прямий розрахунок ОНП виконані за допомогою персонального комп'ютеру. Програма для розрахунку ОНП виконана в програмному середовищі Microsoft Excel, представлена в дипломному проєкті не в повному обсязі в табличній формі.

Прямий (конструктивний) розрахунок охолоджувача наддувного повітря.

Розрахунок параметрів трубки і трубних решіток в таблиці 4.1

Позначення	Спосіб вибору чи визначення	Значення	Найменування
Клас ПТ	Вибираються з ряду відомих у теплотехніку з урахуванням особливостей технології, експлуатаційної надійності і т.п.	Шаховий пучок ребристих труб	
$D, \text{м}$	Задаються з урахуванням можливості придбання чи виготовлення, а також з урахуванням відомих обмежень на характерні розміри ПТ	0,0195	Зовнішній діаметр оребрення
$d_0, \text{м}$		0,01110	Зовнішній діаметр трубки
$d_w, \text{м}$		0,00800	Внутрішній діаметр трубки
$u, \text{м}$		0,00173	Крок між ребрами
$\delta_1, \text{м}$		0,00055	Товщина ребра в підставі
$\delta_2, \text{м}$		0,00020	Товщина ребра у вершини

					ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ	Лист
						47
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$\delta_{cp}, \text{ м}$	$\delta_{cp} = \frac{\delta_1 + \delta_2}{2}$	0,00038	Середня товщина ребра
$f_p, \text{ м}^2/\text{пог.м}$	$f_p = \frac{2}{u} \sqrt{(\pi \frac{D+d_o}{2})^2 + u^2} \cdot \sqrt{(\frac{D-d_o}{2})^2 + (\frac{\delta_1 - \delta_2}{2})^2} + \frac{\delta_2}{u} \sqrt{(\pi D)^2 + u^2}$	0,2407	Площа оребрення на довжині 1 м
$f_{tp}, \text{ м}^2/\text{пог.м}$	$f_{tp} = \pi d_o - \frac{\delta_1}{u} \sqrt{(\pi d_o)^2 + u^2}$	0,02376	Площа ділянок трубки між ребрами на довжині 1 м
$f_{\Pi}, \text{ м}^2/\text{пог.м}$	$f_{\Pi} = f_p + f_{tp}$	0,26446	Повна поверхня з боку оребрення на довжині 1 м
σ	$\sigma = \frac{f_{\Pi}}{\pi d_w}$	10,528	Коефіцієнт оребрення
$g_{\Pi\text{м}}, \text{ кг/м}$	$[\frac{\pi}{4}(d_o^2 - d_w^2)u + \frac{\pi}{4}(D^2 - d_o^2)\delta_{cp}]\rho_m \frac{1}{u}$	0,828	Маса 1 погонного метра оребреної трубки
$f_g, \text{ м}^2/\text{кг}$	$f_g = \frac{f_{\Pi}}{g_{\Pi\text{м}}}$	0,3195	Коефіцієнт масової компактності пучка
$S_1, \text{ м}$	Задаються з урахуванням можливості розміщення в трубних дошках, а також з урахуванням впливу на теплотехнічні параметри ОНП	0,0200	Крок між трубками в поперечному ряді
$S_2, \text{ м}$		0,018	Крок між поперечними рядами трубок
ϕ	$\phi = \frac{(D-d_o)(u-\delta_{cp}) + u(S_1 - D)}{S_1 u}$	0,3540	Коефіцієнт стиснення повітряного потоку
$f_v, \text{ м}^2/\text{м}^3$	$f_v = \frac{Z f_{\Pi}}{[S_2(Z_2 - 1) + D][S_1(Z_1 - 1) + D]}$	714,37	Коефіцієнт об'ємної компактності пучка
ϕ_w	$\phi_w = \frac{Z \pi d_w^2}{4 Z_1 Z_2 S_1 S_2} = \frac{f_{w1} f_v}{f_{\Pi}}$	0,1359	Коефіцієнт стиснення потоку води

Таблиця 3.2 Вихідні даних для виконання прямого розрахунку.

Позначення	Спосіб вибору чи визначення	Значення	Найменування
Конструктивні параметри			
b_w	Задається попередньо на основі прийнятої схеми охолоджувача, що розраховується	4	Число ходів по воді при загальному протіканні
Конструкція ПТ	Вибирається на основі наявних технологій	Монометалічна труба з накатним оребренням	Шаховий пучок циліндричних труб із гвинтовим безупинним ребром трапецієподібного перетину.
Матеріал ПТ	Вибирається на основі освоєних матеріалів	Мідь	Матеріал труби та ребер
$\lambda_m, \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$	Практично постійна	3,84Е+02	Коефіцієнт теплопровідності матеріалу труби і ребер
Стан ПТ	Чиста чи забруднена	загрязнєння	Оцінка ступеня забруднення
$R_{ct}, \text{ м}^2\cdot\text{К/Вт}$	$R_{ct} = \frac{d_o \ln \frac{d_o}{d_w}}{2 \lambda_m}; -R_{ct} = 3\text{Е} - 4.$	3,00Е-04	Термічний опір монометалічної стінки разом із шаром чи забруднення без нього

					ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ	Лист
						48
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

μ_k	Залежить від конструкції оребреної ПТ	1	Коефіцієнт контакту ребер і несущої трубки
L_n , м	Задаються з великим наближенням по розмірах апарата - прототипу	0,5775	Конструктивна довжина пучка
B_n , м		0,3795	Конструктивна ширина пучка
H_n , м		0,4719	Відстань між трубними дошками
δ_o , м	Визначається технологічними нормами	0,0167	Товщина трубних дошок
D_n , м		0,06	Внутрішній діаметр патрубка що підводить
D_o , м		0,06	Внутрішній діаметр патрубка що відводить
Z_1 , шт.	$Z_1 = \text{целое} \left(\frac{B_n - D}{S_1} + 1 \right).$	19	Найбільше можливе число труб у поперечному ряді
Z_2 , шт.	$Z_2 = \text{целое} \left(\frac{L_n - D}{S_2} + 1 \right)$	32	Число поперечних рядів труб
Z , шт.	$Z = Z_1 \frac{Z_2 + 1}{2} + (Z_1 - 1) \frac{Z_2 - 1}{2},$	592,5	Загальне число труб у пучку при непарному Z_2 і максимально заповнених крайніх рядах
Z , шт.	$Z = \frac{Z_2 + 1}{2} (2Z_1 - 1) - Z_1.$	591,5	Те ж, але при мінімально заповнених крайніх поперечних рядах
Z , шт.	$Z = \frac{Z_2}{2} (2Z_1 - 1),$	592	Загальне число труб у пучку при парному значенні Z_2
Z , шт.		592	Число труб у пучку, що відповідає розрахунковому значенню числа Z_2
Параметри теплоносіїв			
G , кг/с		0,672	Витрата повітря
T_1 , К		446,8	Температура повітря на вході
P_1 , Па		299000	Тиск повітря на вході
G_w , кг/с		5,163	Витрата води
T_{w1} , К		322,6	Температура води на вході
T_2 , К		328,8	Температура повітря за охолоджувачем
t_2 , °C	$t_2 = T_2 - 273.$	55,8	
ΔP , мм. вод. ст.		100	Повітряний опір ОНП
ΔP , Па	ΔP , мм. вод. ст. $\cdot 9,8$	980	
w_w , м/с		1,5	Швидкість води в трубках

Таблиця 3.3 Розрахунок констант критеріальних рівнянь.

Позначення	Спосіб вибору чи визначення	Значення	Найменування
η	$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1 - T_{w1}}.$	0,9501	
S	$S = \frac{Gc_p}{G_w c_w}.$	0,0312	Відношення водяних еквівалентів теплоносіїв.
η_x	$\eta_x = \frac{U - 1}{U - S}$	0,5317	ККД одного ходу ОНП у першому наближенні

					ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ	Лист
						49
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

U	$U = \left(\frac{\eta S - 1}{\eta - 1}\right)^{\frac{1}{b_w}}$	2,100	Комплекс для обчислення значення ККД ходу
N	$N = -\frac{b_w}{S} \ln[S \ln(1 - \eta_x) + 1]$	3,0707	Число одиниць переносу теплоти (N) у першому наближенні
T_{wf}	$T_{wf} = \bar{T}_w = \frac{2T_{w1} + S(T_1 - T_2)}{2}$	324,44	Середня температура води в ОНП
T_f	$T_f = T_{wf} + \frac{T_1 - T_2}{N}$	362,87	Середня інтегральна температура повітря в ОНП
Re_1	Вибирається як нижня межа можливого діапазону застосовності	15000	Значення придатні для шахових пучків циліндричних труб зі стрічковим чи шайбовим оребренням
Re_2	Вибирається як верхня межа можливого діапазону застосовності	50000	
$\square$, Вт/м·К	$\lambda = 0,37 - T_f^{0,748} 10^{-3}$	0,03040	Коефіцієнт теплопровідності повітря
$\square$, Па·с	$\mu = 0,544 T_f^{0,62} 10^{-6}$	2,145E-05	Коефіцієнт динамічної в'язкості повітря
Pr	Практично постійний	0,694	Число Прандтля по повітрю
α_{k1}	$\alpha_{ki} = 0,287 - C_z \phi_s^{0,15} \sigma^{-0,52} Re_i^{-0,6 - \sigma^{0,07}} \frac{\lambda}{d_0}$	216,23	Конвективні коефіцієнти тепловіддачі від повітря до стінки для граничних чисел Re.
α_{k2}		506,82	
C_z	$C_z = f(Z_2)$	1	Поправочний коефіцієнт на число поперечних рядів труб у пучку.
ϕ_s	$\phi_s = \frac{S_1 - d_o}{S_2 - d_o}$	1,290	Параметр розміщення труб у трубній дошці.
h_p	$h_p = \frac{D - d_o}{2}$	0,0042	Висота ребра
α_{n1}	$\alpha_{ni} = \alpha_{ki} \left(\frac{f_{tp}}{f_n} \zeta E \mu_k \psi + \frac{f_p}{f_n} \right)$	210,90	Приведені коефіцієнти тепловіддачі от повітря до стінки для граничних чисел Re
α_{n2}		484,68	
Ψ_1	$\psi_i = 1 - 0,058 \cdot \beta_i h_p$	0,9885	Коефіцієнт обліку нерівномірності тепловіддачі по поверхні оребрення.
Ψ_2		0,9824	
$\beta_1 h_p$	$\beta_i h_p = h_p \sqrt{\frac{2\alpha_{ki}}{\delta_1 \lambda_m}}$	0,1985	Параметр ребра
$\beta_2 h_p$		0,3040	
E_1	$E = \frac{e^{2\beta_i h_p \sqrt{\psi \varphi}} - 1}{e^{2\beta_i h_p \sqrt{\psi}} + 1} \cdot \frac{1}{\beta_i h_p \sqrt{\psi}}$	0,9747	ККД ребра
E_2		0,9548	
ζ_1	$\zeta_i = 0,125 \left(1 - \sqrt{\frac{\delta_2}{\delta_1}} \right) h_p \beta_i \sqrt{\psi_i} + 1$	1,0098	Поправка на форму ребра
ζ_2		1,0149	
Nu_1	$Nu_i = \frac{\alpha_{ni} d_o}{\lambda}$	77,00	Числа Нуссельта приведені для граничних чисел Re
Nu_2		176,96	
n	$n = \frac{\lg Nu_2 - \lg Nu_1}{\lg Re_2 - \lg Re_1}$	0,6911	Константа граничних умов для ПТ по теплообміну в повітрі

θ	$\theta = 10^{(\lg Nu_1 - n \lg Re_1)}$	0,1001	Константа граничних умов ПТ по теплообміну в повітрі
Φ	$\Phi = 1,275W \sqrt{\frac{f_n}{S_1}} \left(\frac{d_o}{S_1 - d_o}\right)^{0,272}$	3,807	Константа граничних умов для ПТ по повітряному опорі.
W	$W = f\left(\frac{d_o}{S_1}; 2\frac{S_2}{d_o}\right)$	0,773	Функція розподілу
$\frac{d_o}{S_1}$	$\frac{d_o}{S_1}$	0,555	Геометричний симплекс
$2\frac{S_2}{d_o}$	$2\frac{S_2}{d_o}$	3,243	Геометричний симплекс
m	Константа для даної ПТ	1,728	Константа граничних умов для ПТ по опорі в повітрі

Таблиця 3.4 Розрахунок основних конструктивних параметрів охолоджувача.

Позначення	Спосіб вибору чи визначення	Значення	Найменування
Q , Вт	$Q = Gc_p \eta (T_1 - T_{w1})$	79692,5	
C_1	$C_1 = \frac{\Delta P (2P_1 + \Delta P) d_o^2 S_2}{2R\Phi T_f \mu^2}$	3568466,896	C - комплекси характеристики ОНП
C_2	$C_2 = \frac{\phi Pr}{\theta f_v}$	3,4368E-03	
C_3	$C_3 = \frac{\sigma Pr \lambda \phi}{d_o f_v}$	0,00992	
C_4	$C_4 = C_3 \frac{1}{\alpha_w}$	1,157E-06	
α_w , Вт/м²К	$\alpha_w = 0,021 \varepsilon_l Re_w^{0,8} Pr_w^{0,43} \frac{\lambda_w}{d_w}$, $\alpha_w = 0,116 (Re_w^{\frac{2}{3}} - 125) Pr_w^{\frac{1}{3}} \left[1 + \left(\frac{d_w}{H_{\Pi}}\right)^{\frac{2}{3}}\right] \frac{\lambda_w}{d_w}$	8570,79	Коефіцієнт тепловіддачі от стінки до води.
T_{wf}	$T_{wf} = \overline{T_w} = \frac{2T_{w1} + S(T_1 - T_2)}{2}$	324,44	Середня температура води в ОНП
μ_w , Па·с	$\mu_w = \frac{0,0001882}{[(1+0,0337(T_{wf}-273,2)+0,000221(T_{wf}-273,2)^2)]}$	0,000569	Коефіцієнт динамічної в'язкості води при середній температурі води
λ_w , Вт/м·К	$\lambda_w = 0,02867 c_{pw}^{1,55} / \mu_w^{0,12}$	0,6475	Коефіцієнт теплопровідності води при середній температурі води
Pr_w	$Pr_w = \frac{\mu_w c_{pw}}{\lambda_w}$	3,68	
Re_w	$Re_w = \frac{w_w d_w \rho_w}{\mu_w}$	21087,0	Число Рейнольдса по воді
$\frac{H_{\Pi}}{d_w}$	$\frac{H_{\Pi}}{d_w}$	58,99	Відносна довжина трубки

ε_L	$\varepsilon_L = f\left(\frac{H_n}{d_w}; \text{Re}_w\right)$	1,000	Виправлення на відносну довжину трубки
$f(\text{Re})$	$\frac{1}{N} - \frac{\text{Re}^{m+1}}{C_1} (C_2 \text{Re}^{-n} + C_3 R_{\text{ст}} + C_4)$	0,0000000	Права частина безрозмірного рівняння характеристики ОНП, що повинно зважуватися щодо числа Re. В ідеалі значення цієї частини повинно дорівнювати 0. Реально варто прагнути до можливого мінімуму цієї величини з урахуванням можливостей інструментів рахунка, орієнтовно до 0,00001
Re	Знаходиться підбором із вираження $f(\text{Re})$. При машинному рахунку процедура частково автоматизована	1,16145E+04	Число Рейнольдса по повітрю
Z_2	$Z_2 = \text{целое} \left[C_1 \text{Re}^{-m} \frac{1}{S_2} + 0,5 \right]$	19,00	
Z_1	$Z_1 = \text{целое} \left[\frac{G_w b_w}{Z_2 S_2 S_1 \varphi_w \rho_w w_w} + 0,5 \right]$	16,0	
$H_n, \text{ м}$	$H_n = \frac{G d_o}{\mu \phi \text{Re} Z_1 S_1}$	0,264	Розміри, що відповідають габаритам пучка
$L_n, \text{ м}$	$L_n = S_2 (Z_2 - 1) + D$	0,344	
$B_n, \text{ м}$	$B_n = S_1 (Z_1 - 1) + D$	0,320	
Контроль правильності розрахунків		Розрахунок коректний	Нагадування про необхідність виконання напівавтоматичної операції по ходу програми. Якщо вона виконана правильно, то видається визначення "Розрахунок коректний"
Контроль правильності розрахунків		Розрахунок коректний	Нагадування про необхідність витримувати припустимі співвідношення кроків у трубній дошці. Якщо це співвідношення дотримується, видається визначення "Розрахунок коректний"

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

4.1 Охорона праці та техніка безпеки при роботі в машинному відділенні

До роботи на дільниці з підготовки до експлуатації і експлуатацію дизелів допускаються особи що досягли 18-річного віку, пройшли медичний огляд, пройшли інструктажі по охороні праці, пристрій, що вивчили, і роботу дизеля і дизель-генераторів і іспити кваліфікаційної комісії, що здали, по професії, навчену і атестовану по питаннях охорону праці.

Під час роботи робочий повинен користуватися виданою йому згідно нормативів спецодягом:

- рукавиці х/б - 1 місяць;
- костюм х/б -12 місяців;
- навушники (оєруши) - до зносу;
- черевики шкіряні - 12 місяців.

Працівник зобов'язаний дотримувати правила внутрішнього трудового розпорядку, правила пожежної безпеки, палити тільки у визначених для куріння місцях.

Основними небезпечними і шкідливими виробничими факторами є:

- оксид вуглеводня;
- мінеральні масла;
- сірчистий ангідрид;
- виробничий шум.

Працівник зобов'язаний дотримувати правила і вимоги санітарних норм:

- відходи виробництва (зберігати) збирати в спец тару;
- користуватися витяжною і приточуванням вентиляцією, ЗІЗ при роботі з небезпечними і шкідливими речовинами;

					ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ	Лист
						53
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- при роботі з новими невідомими вам матеріалами, вимагати інструкцію по їх застосуванню.

Працівник зобов'язаний дотримувати правила особистої гігієни:

- не зберігати і не приймати пищу на робочому місці; мити руки перед прийомом пищи;
- не застосовувати для миття рук гас, бензин і інші шкідливі рідини.

Працівник зобов'язаний:

- Піклуватися про особисту безпеку і здоров'я, а також про безпеку і здоров'я навколишніх людей в процесі виконання будь-яких робіт або під час знаходження на території електростанції.
- Знать і виконувати вимоги нормативно-правових актів по охороні праці, правил поведінки з машинами, механізмами, устаткуванням і іншими засобами виробництва, користуватися засобами колективною і індивідуальною захисті
- Проходити у встановленому законодавством порядку попередні і періодичні огляди.
- Вимоги інструкції є обов'язковими для тих, що працюють, не виконання цих вимог розглядається як порушення виробничої дисципліни, що вабить до відповідальності відповідно до чинного законодавства України.

Вимоги безпеки перед початком роботи

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

Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ

Лист

54

нарощувати ключі іншими предметами;

користуватися пристосуваннями, передбаченими техпроцессами

- Оглянути наявність і справність захисних кожухів.

Основні вимоги перед пуском дизеля

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

Вимоги безпеки під час роботи

- При проведенні ревізії на дизелі у всіх місцях, пов'язаних з подачею стислого повітря, палива вивісити попереджувальні таблички застережливі про те, що пуск дизель-генератора забороняється.
- На дизелі і майданчиках по обслуговуванню не дозволяється залишати деталі, інструмент і пристосування після закінчення або в перервах в роботі.
- Пролите масло або паливо повинні бути негайно прибрані.
- Не торкатися без теплозахисних засобів до незахищених деталей, що мають температуру більш 70°C;
- Не запускати дизель без захисного кожуха на маховику;
- Під час роботи дизеля не обтирати рухомі частини дизеля, не усувати дефекти;
- Не підтягати болти, гайки з'єднань, що знаходяться під тиском на працюючому дизелі;
- Пуск дизеля після ревізії проводити після огляду на наявність сторонніх предметів на дизелі;
- Перевірити кріплення і шплинтовку всіх деталей дизеля, особливу увагу звернути на шплинтовку шатунових болтів і шпильок рамових підшипників;

					ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ	Лист
						55
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Не працювати з електроосвітлювальними приладами, що мають напругу більше 12 В;
- Не проводити роботи (технологічні операції) при піднятті деталей і вузлів краном, від'єднувати строп від вузла якщо вузол не закріплений;
- Не знаходитися в небезпечній зоні при переміщенні вантажу;
- При виявленні несправностей устаткування, інструменту, ЗІЗ негайно припинити роботу, повідомляти адміністрації електростанції і далі діяти відповідно до вказівок;
- Про кожний нещасний випадок що відбувся на виробництві або раптовому захворюванні негайно повідомити безпосереднього керівника робіт і прийняти заходи по наданню першої долікарської допомоги постраждалому.

Вимоги безпеки після закінчення робіт

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

Вимоги безпеки в аварійній ситуації

Можливою причиною аварії може бути:

- дизель йде розносячи - підвищення частоти обертання вище 570 хв⁻¹, підвищення температури води вище 90°C, падіння тиску масла нижче 1,6 кг/см²;
- розривання паливопроводу і попадання палива на оголені деталі вихлопного колектора (спалах палива), при виникненні пожежі дзвонити в пожежну частину і прийняти заходи по ліквідації спалаху;

					ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ	Лист
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

- при появі стороннього шуму в дизелі негайно зупинити двигун, перекрити подачу палива або відключити рукояткою граничного вимикача, повідомити майстра і далі діяти по його вказівках;

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

При опіках слід робити холодні примочки з розчином борної кислоти.

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

При виникненні аварійної ситуації необхідно припинити роботу і:

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

4.2 Захист навколишнього середовища

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

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

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

					ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ	Лист
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

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

Основний негативний вплив оксиду вуглецю на організм людини полягає у порушенні газового обміну в організмі. Гемоглобін крові в легенях у 240 разів швидше сполучається з оксидом вуглецю, ніж з киснем, утворюючи карбоксигемоглобін (COHb), і втрачає здатність переносити кисень від легенів до окремих органів та виносити з них вуглекислий газ. Міра впливу оксиду вуглецю на організм людини залежить від концентрації його в атмосфері і від тривалості впливу. Вміст CO у повітрі 0,01% з тривалістю дії більше однієї години викликає головний біль, погіршення реакції та зменшення працездатності. Більші концентрації CO спричиняють більш важкі наслідки, аж до втрати свідомості. Довготривале вдихання CO призводить до серцево-судинних захворювань, появи атеросклерозу, ураження центральної нервової системи, виникнення інфаркту міокарда, розвитку легеневих захворювань. Особливо впливає оксид вуглецю на людей, що страждають коронарною недостатністю.

Високі концентрації CO призводять до втрати свідомості, навіть до смерті. Дослідження показали, що перебування в атмосфері із вмістом CO лише 0,001-0,0015 % ($10-15 \text{ млн}^{-1}$) протягом 8 годин спричиняє у окремих людей погіршення здатності до сприйняття часу. Процес утворення карбоксигемоглобіну є зворотним. За зупинки вдихання CO його концентрація на кожні 3-4 години зменшується удвічі. Дослідження щодо впливу CO, на рослинний світ довели, що за концентрації CO нижче 0,01 % такого впливу не відбувається навіть у випадку витримки рослин в цій атмосфері протягом 3 тижнів, але в деяких дослідженнях погіршувалось утворення пилку.

Особливу групу вуглеводнів складають канцерогени – речовини, що спричиняють ракові захворювання. Серед них особливою канцерогенною активністю відрізняється бенз(б)пірен ($\text{C}_{20}\text{H}_{12}$), що має вигляд кристалів

					ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ	Лист
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

жовтого кольору. Він добре розчиняється в оливах, жирах, сировотці людської крові, в місцях безпосереднього контакту кристалів з тканинами органів спричиняє виникнення злоякісних пухлин, має властивість накопичуватися в організмі людини і, досягнувши критичних концентрацій, спричиняє ракове захворювання.

Основними альдегідами, що надходять у атмосферу з відпрацьованими газами, є формальдегід і акролеїн.

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

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

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

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

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

Двооксид азоту є вихідним продуктом утворення озону під впливом ультрафіолетового випромінювання. А надмірне накопичення озону у

					ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ	Лист
						59
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

приземному просторі дуже шкідливе. Крім того, NO_2 має вирішальну роль в утворенні фотооксидантів. Розчин NO_2 у воді є складовою "кислотних дощів".

Сірчистий газ SO_2 – основний токсичний продукт сполук сірки, що надходить у атмосферу з відпрацьованими газами. У вільному стані SO – це газ без кольору з різким запахом, кислий на смак, отруйний, подразнює слизові оболонки очей і дихальних шляхів. Легко розчиняється у воді, утворюючи сірчисту кислоту H_2SO_3

Висока концентрація SO_2 в атмосфері викликає гострий бронхіт, задуху, можливу смерть внаслідок рефлексорного спазму горла.

Сполуки сірки SO_2 , SO_3 , H_2SO_3 і H_2SO_4 наносять значний збиток лісовому і сільському господарствам – вони закислюють ґрунт, підвищують вразливість рослин захворюваннями. Окрім того, ці речовини є основними складовими класичного смогу і складовою "кислотних дощів".

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

					ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ	Лист
						60
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

Кваліфікаційна магістерська робота на тему "Покращення техніко-експлуатаційних показників стаціонарного газового двигуна потужністю 300кВт з розробкою ОНП інтеркулера" містить в собі необхідні конструкторські креслення, розрахункові і пояснювальні матеріали по газовому двигуну 6ГЧН 18/22 і детальну розробку конструкції поршня. Кваліфікаційна робота оформлена у вигляді пояснювальної записки та графічної конструкторської частини проекту загальною кількістю 5 листів формату А1.

Газовий двигун 6ГЧН 18/22 потужністю 300 кВт при частоті обертання колінчастого валу 1000 хв^{-1} використовується для приводу електрогенератора змінного струму і встановлюється в місцях постійного споживання електричної та теплової енергії. Детальна конструкція газового двигуна 6ГЧН 18/22 показані в Додатку 1 графічної частини роботи.

У конструкторському розділі кваліфікаційної роботи по заданим вихідним параметрам двигуна ($P = 300 \text{ кВт}$, $n = 1000 \text{ хв}^{-1}$) визначений двигун – прототип 6ГЧН18/22 та виконані розрахунки параметрів робочого циклу.

По результатам розрахунку робочого процесу побудовані індикаторна діаграма дійсного робочого циклу та діаграми сил, що діють на деталі КШМ, величини яких знайдені в динамічному розрахунку двигуна. Вказані діаграми побудовані на листі Додатку 5 графічної частини роботи.

Важливе місце в кваліфікаційній роботі займає розробка конструкції ОНП інтеркулера, виготовленого із міді. В пояснювальній записці приведений детальний опис ОНП двигуна - прототипу та виконаний розрахунок теплообмінника. Складальне креслення поршня показано в Додатку 3.

Газовий двигун 6ГЧН 18/22 є джерелом шуму і вібрації, а тому значну увагу в кваліфікаційній роботі приділено розробці заходів по зменшенню негативного впливу його роботи на обслуговуючий персонал і на навколишнє середовище.

					ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ	Лист
						61
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ

1. М.Р. Ткач, Б.Г. Тимошевский, С.М. Доценко, Ю.Н. Галынкин Утилизация низкопотенциального тепла малооборотных ДВС на базе гидридной технологии. Авиационно-космическая техника и технология // Научно - технический журнал, 2013, № 8(105) – С.61–66.

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. М.Р. Ткач, Б.Г. Тимошевский, С.М. Доценко, Ю.Н. Галынкин Влияние регенерации энергии на эффективность утилизации низкопотенциального тепла металлгидридной установкой непрерывного действия. Двигатели внутреннего сгорания. – 2014. № 2. – С.57- 62.

5. Методичні вказівки до виконання розрахунку робочого процесу, теплового балансу, теоретичної та дійсної індикаторної діаграми газового двигуна з дисципліни «Теорія ДВЗ» // Доценко С.М., Бельський Ф.В., Григоренко В.О.-Первомайськ ПП, 2010.

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

7. 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.

8. 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: – Palanqa, Lithuania, 2023. – Pages.

					ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ	Лист
						62
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		