

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: Теоретичні дослідження роботи 4-тактного газового двигуна
потужністю 300 кВт при коефіцієнту надлишку повітря 0,5...0,8 з
отриманням синтез-газу

Виконав:
студент групи 61-ТЕМмаг-22

_____ ***Пузир Р. В.***
(підпис)

Керівник роботи:

_____ ***Грабовенко О.І.***
Ст. викладач кафедри ЕМ
(посада, науковий ступень, вчене звання)
(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.

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

Студенту Пузир Роману Володимировичу

Тема: «Теоретичне дослідження роботи 4-тактного газового двигуна потужністю 300 кВт при коефіцієнті надлишку повітря 0,5...0,8 з отриманням синтез-газу»

Керівник роботи Грабовенко О.І.

Затверджено розпорядженням ПННІ НУК від 11.09.2023 року за № 49.

2. Термін подання студентом роботи до розгляду на кафедру 05.12.2023 року.

3. Вихідні данні по роботі: Двигун-прототип 6ГЧН25/34 потужністю 315 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. Газовий двигун-генератор, СК. 2. Поперечний перетин двигуна (СК). 3.

Принципова схема система подачі газу, СП. 4. Теплообмінник

рециркуляційних газів. СК, 5. Діаграми складу ГПС та ПЗ при роботі на природному газу та природному і збагаченому повітрі. 6. Діаграми складу ГПС

та ПЗ при $\alpha = 0,65$. 7. Діаграми складу ГПС та ПЗ при $\alpha = 0,80$.

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.	16.10.2023	
4	Науковий розділ.	06.11.2023	
5	Охорона праці та навколишнього середовища.	24.11.2023	
6	Загальні висновки по кваліфікаційній роботі. Оформлення кваліфікаційної роботи	05.12.2023	

Студент _____ Пузир Р.В.
(підпис)

Керівник
роботи _____ Грабовенко О.І.
(підпис)

Анотація

Об'єктом виконання розрахункових досліджень в магістерській роботі являється хімічний реактор стиску (ХРС) на базі газопоршневого двигуна 6ГЧ 25/34, що з'єднаний з генератором змінного струму і який призначений для отримання синтез-газу ($\text{CO} + \text{H}_2$) з метану CH_4 . Суть технології виробництва синтез-газу в ХРС заключається в парціальному окисленні збагаченої метаноповітряної суміші (при коефіцієнті надлишку повітря менше одиниці) за рахунок стиску та згоряння цієї суміші в циліндрах двигуна, причому частина утворюваного синтез-газу повертається у початкову метаноповітряну суміш для активізації процесу парціального окислення.

Метою розрахункових досліджень є оцінка вхідних і вихідних параметрів ХРС, таких як:

- потужність на фланці відбору потужності двигуна 6ГЧ 25/34;
- оптимальне співвідношення метан-повітря;
- максимальна температура процесу згорання і максимальний тиск згорання в циліндрі двигуна;
- витрата метану за годину, що споживається двигуном;
- витрата виробленого синтез-газу за годину;
- температура синтез-газу у вихлопному трубопроводі двигуна;
- хімічний склад виробленого синтез-газу.

Також була розроблена принципова схема підведення метану, повітря і рециркулюємого синтез-газу в змішувальну камеру ХРС з двигуном 6ГЧ25/34.

Ключові слова: хімічний реактор стиску, синтез-газ, метан, коефіцієнт надлишку повітря.

Abstract

The object of computational research in the master's thesis is a chemical compression reactor (CRC) based on a gas piston engine 6ГЧ 25/34, which is connected to an alternating current generator and which is designed to obtain synthesis gas ($\text{CO} + \text{H}_2$) from CH_4 methane. The essence of the synthesis gas production technology in the KhRS consists in the partial oxidation of the enriched methane-air mixture (when the excess air coefficient is less than one) due to the compression and combustion of this mixture in the engine cylinders, and part of the formed synthesis gas is returned to the initial methane-air mixture to activate the partial oxidation process .

The purpose of calculation studies is to estimate the input and output parameters of the HRS, such as:

- power on the power take-off flange of the engine 6GHz 25/34;

- optimal methane-air ratio;
- the maximum temperature of the combustion process and the maximum combustion pressure in the engine cylinder;
- methane consumption per hour consumed by the engine;
- consumption of produced synthesis gas per hour;
- synthesis gas temperature in the engine exhaust pipeline;
- chemical composition of the produced synthesis gas.

Also, a basic scheme for feeding methane, air and recirculated synthesis gas into the mixing chamber of the KhRS with a 6ГЧ25/34 engine was developed.

Key words: chemical compression reactor, synthesis gas, methane, coefficient of excess air.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1. ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ	
1.1 Опис конструкції двигуна– прототипу.....	6
2. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	
2.1 Вибір параметрів робочого процесу газового двигуна, що працює в складі хімічного реактора стиску.....	12
3. НАУКОВИЙ РОЗДІЛ	
3.1 Визначення оптимального співвідношення паливний газ – повітря.....	16
3.2 Визначення необхідності примусового підпалювання ГПС.....	18
3.3 Розробка схеми підведення паливного газу і повітря, визначення необхідності підігріву ГПС.....	19
3.4 Обґрунтування необхідності часткової рециркуляції випускних газів.....	22
3.5 Розрахунок теплообмінника для охолодження рециркуляційних газів.....	23
3.6 Розрахунок параметрів робочого процесу ХРС при $\alpha = 0,5, 0,65, 0,80$	26
3.7 Обґрунтування можливості застосування збагаченого повітря для покращення параметрів роботи газового двигуна.....	56
3.8 Розрахунок параметрів робочого процесу ХРС при роботі на газу і збагаченому повітрі.....	57
4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	
4.1 Заходи з охорони праці при обслуговуванні двигуна.....	65
4.2 Захист навколишнього середовища	66
ВИСНОВКИ.....	67
ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ.....	68

					ПІННІ НУК 131.61.23.13 ПЗ				
Зм.	Арк..	№ документа	Підпис	Дата					
Розробив	Пузир				Пояснювальна записка		Літера	Лист	Листів
Перевірив	Грабовенко						н	3	75
							61-ТЕМмаг-22		
Н. контр	Грабовенко								
Затвердив	Нестеренко								

ДОДАТКИ

ДОДАТОК 1	Двигун-генератор, СК, А1.....	69
ДОДАТОК 2	Газовий двигун 6ГЧ25/34 (Поперечний розріз), СК, А1... ..	70
ДОДАТОК 3	Теплообмінник рециркуляційного газу, СК, А1.....	71
ДОДАТОК 4	Принципова схема системи подачі газу в двигун, СП, А1.....	72
ДОДАТОК 5	Діаграми складу ГПС та ПЗ при роботі на природному газу та природному і збагаченому повітрі ($\alpha = 0,5$), А1.....	73
ДОДАТОК 6	Діаграми складу ГПС та ПЗ при роботі двигуна з коефіцієнтом надлишку повітря $\alpha = 0,65$, А1.....	74
ДОДАТОК 7	Діаграми складу ГПС та ПЗ при роботі двигуна з коефіцієнтом надлишку повітря $\alpha = 0,80$, А1.....	75

					ПІННІ НУК 131.61.23.13 ПЗ	Лист
						4
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

В теперішній час актуальним являється питання виробництво альтернативного рідкого палива для поршневих дизельних двигунів шляхом відповідної переробки синтез-газу. Це пов'язано як з наступаючим дефіцитом нафтової сировини, так і з проблемами екології, так як спалювання в дизелях традиційного палива із нафти супроводжується значними викидами в атмосферу шкідливих речовин, перше за все оксидів азоту і оксиду вуглецю. В аспекті економії нафти та зниження викидів шкідливих речовин використання в дизелях рідких альтернативних палив є більш доцільним.

Отримання синтез-газу із метану (для наступної переробки синтез-газу в рідке паливо для дизелів) представляє практичний інтерес і має важливе народногосподарське значення. Міжнародний досвід досліджень, проведених у вказаному напрямку, дозволяє впевнено ставити питання по розробці генератора синтез-газу на базі газопоршневого двигуна, тобто хімічного реактора стиску, в якому виконується парціальне окислення багатой суміші метану з повітрям шляхом стиску і згоряння цієї суміші (при не достатку повітря) в циліндрах двигуна з утворенням при цьому синтез-газу. Для активізації процесу парціального окислення суміші метану з повітрям частина утвореного синтез-газу перепускається із вихлопного трубопроводу двигуна назад у змішувальну камеру двигуна, в якій приготавлиється початкова робоча суміш метану з повітрям, тобто проходить рециркуляція синтез-газу (із забезпеченням відповідного охолодження рециркулюємого синтез-газу перед змішувальною камерою). Робоча суміш і рециркуляційний синтез-газ із змішувальної камери надходять у впускний колектор і далі в циліндри двигуна.

Вище приведеному способу отримання синтез-газу із метану, що міститься в природному газу, і присвячена ця кваліфікаційна робота, яка включає в себе проведення розрахункових досліджень, направлених на створення макетного зразка ХРС на базі газопоршневого двигуна 6ГЧ25/34.

					ПННІ НУК 131.61.23.13 ПЗ	Лист
						5
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Опис конструкції газового двигуна 6ГЧН25/34

Двигун 6ГЧН25/34 – газовий, чотиритактний із вертикальним однорядним розташуванням циліндрів, із газотурбінним наддувом та іскровим запалюванням.

Двигун складається із блок - картера і фундаментної рами, що утворюють жорстку систему, на якій змонтовані всі інші деталі і вузли.

Блок - картер з фундаментною рамою скріплені анкерними шпильками, що проходять через внутрішні поперечні перегородки і додатково нижня площина блок-картера скріплена із верхньою площиною фундаментної рами болтами. Із сторони вільного кінця колінчастого валу двигуна розміщені: турбокомпресор, система вентиляції картера, охолоджувач наддувочного повітря (газоповітряної суміші), водяні і масляні насоси, фільтр-глушник і змішувач.

Із сторони відбору потужності розміщені: щит задній з кронштейном, щит приборів, клапан пуску, задній кожух, на якому розташовані розподільувач повітря пускового, регулятор безпеки, привід тахометра ТМ 0.75, регулятор швидкості.

На верхній частині двигуна розміщені кришки робочих циліндрів, до яких кріпляться впускний колектор, випускний колектор і труба зливу охолоджуючої води із кришок циліндрів.

На лівій стороні двигуна розміщені: розподільчий вал, привід впускних і випускних клапанів, регулятор швидкості, механізм регулювання подачі газу і елементи системи запалювання.

На правій стороні двигуна розташовані: колектор подачі охолоджуючої води в сорочку охолодження втулок робочих циліндрів і щити закриття картеру із запобіжними клапанами. Нижче приводиться опис головних вузлів газового двигуна – прототипу.

1.1.1 Фундаментна рама

					ПННІ НУК 131.61.23.13 ПЗ	Лист
						6
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Фундаментна рама 1 (рис.1.1) відлита із чавуну, цільна, коритоподібної форми, має поперечні перегороди, посилені ребрами.

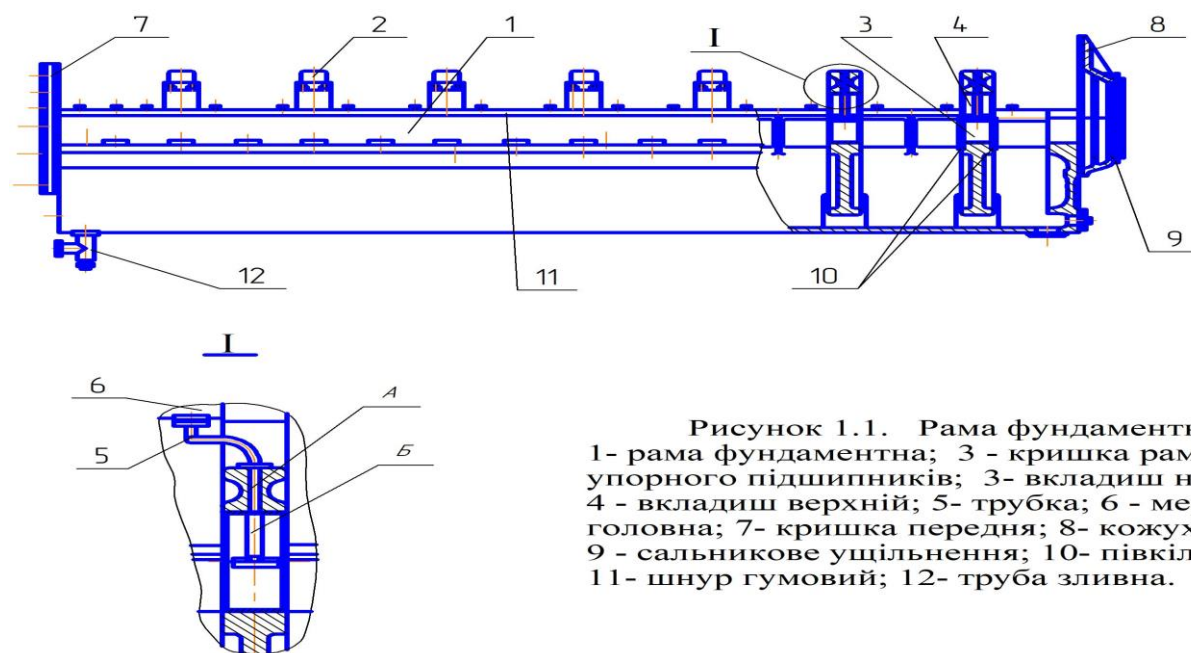


Рисунок 1.1. Рама фундаментна
1- рама фундаментна; 3 - кришка рамового і упорного підшипників; 3- вкладиш нижній; 4 - вкладиш верхній; 5- трубка; 6 - мережа головна; 7- кришка передня; 8- кожух; 9 - сальникове ущільнення; 10- півкільце; 11- шнур гумовий; 12- труба зливна.

Внутрішня порожнина рами служить для збору масла, що стікає з деталей тертя двигуна та охолодження поршнів.

В постелях, розточених в поперечних перегородках рами і кришках 2, встановлюються вкладиші 3 і 4 рамових підшипників колінчастого вала.

Двигун 6ГЧН 25/34 має сім рамових підшипників. Останній підшипник, при рахуванні із сторони маховика, опорно-упорний.

З обох сторін по всій довжині, фундаментна рама має приливи з отворами для болтів кріплення двигуна до рами.

Із сторони вільного кінця вала двигуна до рами кріпиться кришка 5, на яку встановлюються два водяних та один масляний насоси, а із сторони маховика – кожух 6 фланця колінчастого вала з масло відбивним кільцем та сальниковим ущільненням 7.

В днищі фундаментної рами по краям є два зливних отвори, одне із сторони переднього торця, а друге із сторони заднього торця, яке закрито глухим фланцем. На бокових стінках рами з внутрішньої сторони виконані приливи, на які встановлено масло забірний фільтр.

					ПННІ НУК 131.61.23.13 ПЗ	Лист
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

На площині роз'єму блоку з рамою є канавка, в яку вкрито ущільнюючий гумовий шнур 11.

1.1.2 Кривошипно-шатунний механізм: колінчастий вал, шатун, поршень.

Вал колінчастий – (рис.1.2) сталевий, цільнокований, має 8 рамових і 6 шатунних шийок. Кривошипи розташовані під кутом 120° відносно один до одного, кривошипи першого та шостого, другого та п'ятого, третього та четвертого циліндрів розташовані попарно в одній площині. Діаметр рамових шийок - 230 мм, шатунних – 180 мм.

В тілі колінчастого вала виконані нахилені свердлення, що проходять через шатунні та рамові шийки і які є масляними каналами. Ці отвори, а також глухий отвір восьмої рамової шийки, використовується також для встановлення пристосувань для виймання та заведення вкладишів рамових підшипників.

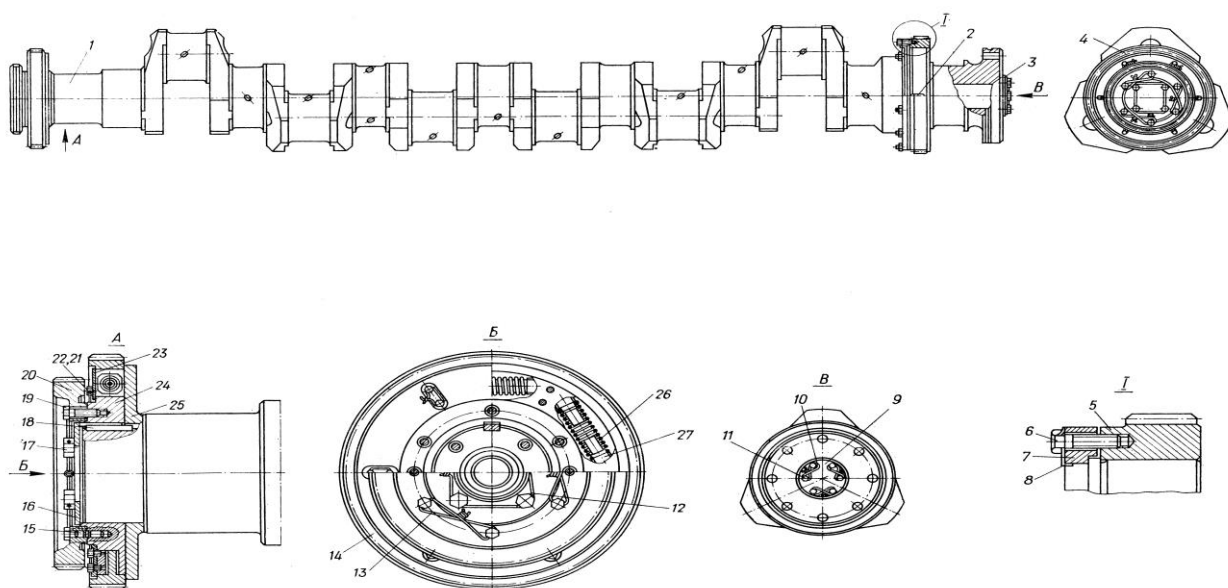


Рисунок 1.2 Вал колінчастий

1 – вал колінчастий; 2 – шпонка; 3 – прокладка; 4 – демпфуюча шестерня приводу водяних насосів; 5 – шестерня колінчастого вала; 6 – болт М10х35; 7 – притиск; 8 – шайба стопорна; 9 – заглушка; 10, 13 – дрiт 02; 11 – болт М10х25; 12 – дрiт 03; 14 – шестерня приводу водяних насосів; 15 – штифт циліндричний з буртом $\varnothing 10$; 16 – кільце стопорне; 17 – болт М16х35; 18 – шпонка; 19 – болт М12х40; 20 – шестерня приводу масляного насоса; 21 – болт М6х12; 22 – дрiт 1; 23 – диск; 24 – маточина; 25 – кільце упорне; 26 – пружина; 27 – грибок.

Із сторони переднього торця на колінчастому валу встановлені шестерня приводу насоса масла 20 та демпфуюча шестерня приводу насосів води 4.

					ПННІ НУК 131.61.23.13 ПЗ	Лист
						8
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Шестерня 20 приводу насоса масла жорстко з'єднана з маточиною демпфіруючої шестерні 24, яка на шпонці 18 жорстко з'єднана з колінчастим валом. Демпфіруюча шестерня з'єднана із маточиною 24 через шість пружних елементів (пружин 26 з грибками 27). Це забезпечує демпфірування нерівномірності обертального моменту та надійну роботу зубчастих зачеплень приводу насосів води. Від осьового зміщення шестерня утримується упорним кільцем 25 та болтами в кількості чотирьох штук.

Із сторони заднього торця на фланці колінчастого валу на шпонці насаджена шестерня 5, яка служить для приводу розподільчого вала і утримується від осьового переміщення притисками 7. Поміж восьмою рамовою шийкою і фланцем, до якого кріпиться маховик, на валу виконаний масло відбійний борт, який запобігає попаданню масла, що виходить із восьмого рамового підшипника, на фланець.

Шатун - (рис.1.3) виготовлений із вуглецевої сталі, штампований. Стержень 5 шатуна - двотаврового перерізу, має центральний осьовий канал А. У верхній головці шатуна виконана кільцева канавка Д, а в нижній головці - канали Б и В, по яким масло із шатунного підшипника поступає в головний.

В розточку верхньої головки шатуна запресована бронзова втулка 6, яка являється головним підшипником.

На внутрішній поверхні втулки виконана канавка Г та вісім отворів для проходу масла.

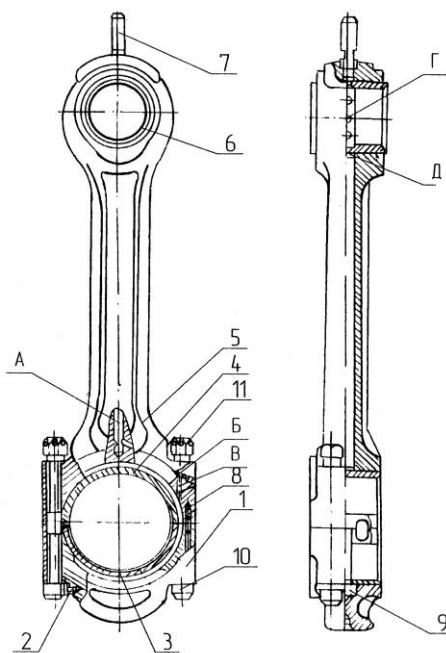


Рисунок.1.3 Шатун
1-кришка шатунного підшипника; 2,8,9 – штифт;
3 – вкладиш нижній;
4 – вкладиш верхній;
5 – стержень шатуна;
6 – втулка; 7 – розпилювач;
10 – болт шатунний; 11 – гайка шатунного болта

У верхню головку шатуна завернутий також розпилювач 7, який забезпечує розбризкування масла для охолодження днища поршня. Масло із канави А поступає в кільцеву канавку Д у верхній головці шатуна, а потім в розпилювач 7 на охолодження поршня і одночасно через отвори у втулці – в кільцеву канавку Г на змащування поршневого пальця. Деяка кількість масла утримується в головці поршня діафрагмою 6 (рис.1.4). В нижній головці шатуна розташовані сталєалюмінієві вкладиші 3 и 4 шатунного підшипника. Від осьового переміщення та повороту вкладиші втримуються штифтом та шатунними болтами 10.

Шатунні болти виготовлені із високолегованої сталі. Гайки 11 шатунних болтів після затяжки стопоряться дротом від самовільного відкручування. На обох кінцях шатунного болта виконані площадки, відстань поміж якими, заміряна з точністю до 0,01 мм, нанесено на головці шатунного болта та служить для контролю залишкового подовження болта в експлуатації двигуна. Залишкове подовження болта не повинно перевищувати 0,3 мм. При більшому подовженні шатунний болт слід замінити. На гайках нанесені поділки для контролю затяжки шатунних болтів.

Шатуни для одного двигуна підбираються або підганяються по масі з допустимою різницею мас не більше 0,5 кг.

Поршень (рис.1.4) - чавунний, цільний, охолоджується маслом. На краях днища поршня з двох сторін зроблені поглиблення для запобігання дотику

поршнем клапанів газорозподілу при їх відкритті. В поглибленнях є два різьбових отвори М12, призначені для кріплення відповідного пристосування (скоби) при витягуванні поршня із шатуном. Поршень и шатун з'єднані стальним пустотілим поршневим пальцем 9.

					ПННІ НУК 131.61.23.13 ПЗ	Лист
						10
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

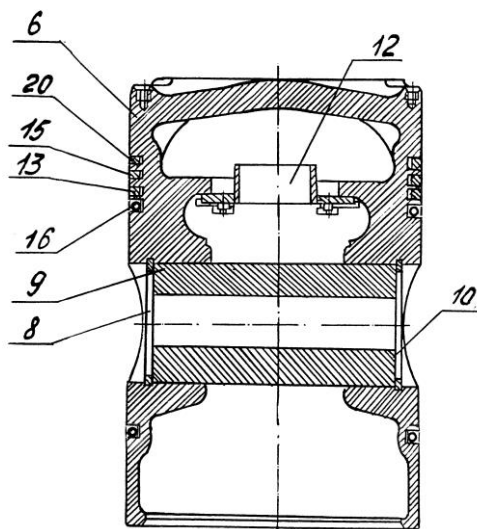


Рисунок 1.4 Поршень

6 – поршень; 8, 10 – стопорне кільце; 9 – палець; 12 – діафрагма;
13, 15, 20 – кільце компресійне; 16 – кільце маслоз'ємне.

Зовнішня поверхня пальця цементована та загартована. Від осьового переміщення палець утримується пружинними кільцями 8, встановленими в кільцевих канавках бобишок поршня.

На поршні є п'ять канавок, в яких розміщені поршневі кільця: в трьох верхніх - по одному компресійному 10, та в нижніх - два маслоз'ємних кільця 16.

Компресійні кільця мають в перерізі прямокутну форму. Два верхніх компресійних кільця мають на боковій поверхні зносостійке покриття (хромування). Маслоз'ємні кільця 11 коробчастого типу з пружинним експандером, покриті хромом.

Поршні для одного двигуна підбираються або ж підганяються по масі з допустимою різницею мас поршнів не більше 0,5 кг (без поршневих кілець).

					ПННІ НУК 131.61.23.13 ПЗ	Лист
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

2. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1 Вибір параметрів робочого процесу газового двигуна, що працює в складі хімічного реактора стиску (ХРС)

Для макетного зразка ХРС підібраний газовий двигун 6ГЧ25/34 без газотурбінного наддуву, щоб виключити проблему суміщення характеристики двигуна і турбокомпресора.

Так як в якості базового агрегату ХРС використовується модифікація серійного чотиритактного газового двигуна, то при зміні його функціонального призначення основні цикли роботи зберігаються. Підготовлена в змішувальній камері газоповітряна суміш засмоктується поршнями двигуна у впускний колектор і далі в циліндри двигуна. На такті стискання проходить підігрів паливного заряду, і в кінці такту суміш запалюється за допомогою електричної іскри. Момент запалювання газоповітряної суміші є ключовим, і при видимій на перший погляд простоті саме в ньому заключаються основні проблеми. Для отримання синтез-газу із складом компонентів, придатним для наступної переробки в метанол або ДМЭ, необхідно запалювати суміш в об'ємі, щоб забезпечити необхідні параметри для повного проходження процесу парціального окислення за час, який визначається декількома кутовими градусами повороту колінчастого валу двигуна в зоні верхньої мертвої точки (ВМТ). Після запалювання і при наступному дотисканні температура суміші повинна досягнути величин 1900-2100К. Затягування запалювання виводить процес в зону за ВМТ, де спостерігається різкий спад температур, що супроводжується сповільненням швидкості реакції, підвищенням утворення сажі, зниженням вмісту водню, погіршенням співвідношення H_2/CO , хімічним недопалюванням метану і підвищенням концентрації кисню.

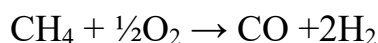
Слід відмітити, що енергія, яка необхідна для підпалювання багатой газоповітряної суміші, достатньо висока і для забезпечення ланцюгової реакції в об'ємі циліндра вона повинна перевищувати втрати теплоти в стінки, що досягається набагато більш складними засобами, ніж в звичайному

					ПННІ НУК 131.61.23.13 ПЗ	Лист
						12
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

газовому двигуні.

Таким чином, в кінці такту стискання – на початку розширення при правильно вибраних параметрах і заходах, що забезпечують проходження реакції в заданий часом оборотів час, маємо практично термодинамічно рівно вісний склад синтез-газу, який миттєво «заморожується» в межах такту розширення і виконується механічна робота. Температура робочих газів при цьому падає до 600 – 700К.

При дотриманні всіх вище приведених міркувань і використанні модифікованого газового двигуна зовсім реальною задачею є створення генератора синтез-газу, в якому реалізується класичний процес неповного термічного окислення метану



Із приведеної формули слідує, що при неповному термічному окисленні 1 м³ метану CH₄ утворюється 1 м³ оксиду вуглецю CO и 2 м³ водню H₂.

Для отримання синтез-газу в циліндрах газового поршневого ДВЗ необхідне виконання наступних умов:

1. Коефіцієнт надлишку повітря для згоряння природного газу
 $\alpha = 0,5-0,8$

2. Температура горіння газоповітряної суміші (ГПС)
 $t = 1300 - 2300^\circ\text{C}$

3. Тривалість процесу горіння ГПС $\tau = 10^{-3}-10^{-2} \text{ c}$

4. Об'ємна подача рециркулюваних продуктів парціального окислення (синтез-газу) в змішувальну камеру повинна складати 10...20% до початкового об'єму газоповітряної суміші (суміші метану і повітря).

По результатам розрахунку робочого процесу ХРС проблем в забезпеченні необхідної температури горіння газоповітряної суміші в циліндрі двигуна не передбачається.

					ПННІ НУК 131.61.23.13 ПЗ	Лист
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Перевірка тривалості згоряння ГПС по куту повороту колінчастого вала, показує, що вона може бути забезпечена при числі оборотів колінчастого вала $n = 500$ об/хв:

$$\varphi = \frac{t}{t_{1\text{град}}} = \frac{0,001...0,01}{0,00033} = 4,2...42 \text{ град},$$

де $t = 0,001...0,01$ сек. – рекомендована тривалість горіння ГПС

$$t_{1\text{град}} = \frac{60}{n \cdot 360^\circ} = \frac{60}{500 \cdot 360} = 0,00033 \text{ сек/град} - \text{тривалість повороту колінчастого валу на } 1 \text{ градус};$$

$n = 500$ об/хв. - номінальне число оборотів колінчастого валу.

Із вище приведеного слідує, що забезпечити необхідні умови для утворення синтез-газу в циліндрах газового двигуна 6ГЧ25/34 можливо.

4. Для подачі продуктів парціального окислення (синтез-газу) в змішувальну камеру їх попередньо необхідно охолодити до температури $t = 40...60^\circ\text{C}$ в охолоджувачі синтез-газу. В ході доводки робочого процесу макетного зразка ХРС температура рециркулюємого синтез-газу на виході із охолоджувача буде регулюватися за рахунок зміни кількості охолоджуючої води, що прокачується через охолоджувач.

Макетний зразок ХРС на базі двигуна 6ГЧ25/34 для отримання синтез-газу має ряд очевидних переваг:

- в одному агрегаті вдається сумістити компресор для стиску робочої суміші, камеру згоряння і реактор, в якому проходить конверсія метану, охолодження отриманого синтез-газу від температури 2300К до 620 – 750К з одночасним виробленням електроенергії електрогенератором, який приводиться від колінчастого валу газового двигуна;

- високі параметри процесу: тиск до 10 – 15 МПа і температура більше 2000К забезпечують парціальне окислення метану за $10^{-2} - 10^{-3}$ сек. В цьому плані робочий циліндр двигуна є зовсім унікальним елементом по своїй універсальності, так як в ньому проходять всі перераховані процеси;

					ПННІ НУК 131.61.23.13 ПЗ	Лист
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

- використання тепла екзотермічної хімічної реакції парціального окислення реалізується в самій зручній формі – виробництві електроенергії. Таким чином, за мінусом механічних втрат, втрат в систему охолодження і затрат енергії на стиск вся енергія газу витрачається на здійснення корисної роботи та виробництво цільового продукту – синтез газу. Оскільки все це проходить в одному агрегаті, втрати мінімальні.

					ПННІ НУК 131.61.23.13 ПЗ	Лист
						15
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

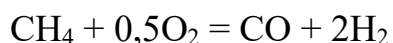
3. НАУКОВИЙ РОЗДІЛ

3.1 Визначення оптимального співвідношення паливний газ - повітря

В газовому двигун - генераторі, що працює в складі когенераційної установки з комбінованим виробництвом електроенергії і тепла, співвідношення газ-повітря визначається коефіцієнтом надлишку повітря для згоряння газового палива α . Цей коефіцієнт представляє собою відношення фактичного об'єму повітря, витраченого на згоряння палива, до його теоретично необхідного об'єму.

Для забезпечення прийнятної економічності двигуна по питомій витраті газового палива і зниження температури випускних газів на виході із циліндрів двигуна коефіцієнт надлишку повітря повинен бути максимальним. Заміряна фактична величина α для газових двигунів типу 6-8ГЧН25/34 складає 1,7 - 1,8.

При роботі газового двигуна 6ГЧ25/34 в складі ХРС з метою отримання синтез-газу із природного газу (метану) шляхом парціального окислення суміші вуглеводневої сировини з повітрям необхідно, щоб коефіцієнт надлишку повітря знаходився в межах $\alpha = 0,5 - 0,8$. При попаданні суміші вуглеводневої сировини з повітрям і продуктами переробки (випускними газами) в циліндр двигуна і досягненні при стиску умов протікання реакції із неї утворюється синтез - газ $\text{CO} + \text{H}_2$



Для створення умов протікання реакції по утворенню синтез-газу застосовуються два способи.

Перший спосіб включає попереднє змішування вуглеводневої сировини з повітрям до $\alpha = 0,5 - 0,8$, активацію процесу окислення сировини нагрівом отриманої суміші до температури 200-450°C, подачу нагрітої суміші в об'єм циліндра двигуна внутрішнього згоряння при переміщенні поршня до нижньої мертвої точки, здійснення парціального окислення вуглеводнів при стиску в об'ємі циліндра рухом поршня до верхньої мертвої точки до її самозапалювання і отримання температури 1300-2300°C на період $10^{-3} - 10^{-2}$ с, охолодження

					ПННІ НУК 131.61.23.13 ПЗ	Лист
						16
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

продуктів процесу розширенням їх при русі поршня до нижньої мертвої точки, вивід продуктів процесу, що містять синтез-газ із циліндру двигуна при переміщенні поршня до верхньої мертвої точки, надходження нової порції робочої суміші при переміщенні поршня до нижньої мертвої точки. Цей спосіб дозволяє отримати синтез-газ, придатний для подальшої каталітичної переробки.

Проте активізація процесу окислення вуглеводневої сировини, що містить попередній нагрів суміші до 200 - 450°C, створює умови надходження газу в робочий циліндр з достатньо низькою густиною, які тим самим обмежують підвищення продуктивності способу. Крім того, достатньо висока температура попереднього нагріву визиває додаткові енергетичні витрати, а також сприяє додатковому зношуванню деталей тертя циліндро - поршневої групи, зменшуючи тим самим ресурс двигуна.

Сутність другого способу отримання синтез-газу в ХРС заключається в тому, що для активації процесу окислення суміші вуглеводневої сировини використовується подача продуктів парціального окислення (синтез-газу) в кількості 10-20% до початкової сировини, яка вводиться в кількості 90-80%.

В обох способах, при $\alpha < 0,5$ проходить інтенсивне утворення сажі, що погіршує якість синтез-газу, а при $\alpha > 0,8$, у відпрацьованих газах вміст CO_2 стає більше, ніж CO , що також погіршує якість синтез-газу.

Для макетного зразка ХРС підібрана оптимальна величина $\alpha = 0,5$.

Нижня границя температури процесу парціального окислення 1300°C вибрана із необхідності забезпечення глибокого протікання парціального окислення вуглеводневої сировини.

Верхня границя температури проведення парціального окислення 2300°C вибрана для уникнення утворення сажі при низьких значеннях α .

					ПННІ НУК 131.61.23.13 ПЗ	Лист
						17
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.2 Визначення необхідності примусового підпалювання газоповітряної суміші

При розробці макетного зразка ХРС на базі газового двигуна 6ГЧ25/34 була прийнята система примусового підпалювання газоповітряної суміші в циліндрі двигуна за допомогою системи запалювання типу ІС-910 виробництва фірми «MOTORTECH» (Германія), яка використовується на серійних газових двигунах типу 6ГЧН25/34 и 8ГЧН25/34. Вказана система запалювання багаторазово випробувана і добре себе показала при тривалій експлуатації вказаних двигунів.

Застосування дизельного циклу робочого процесу в макетному зразку ХРС вельми проблематично по таким основним причинам:

1. Для samozapalювання газоповітряної суміші її необхідно стиснути до температури 590...690°C, при якій можливе samozаймання метану, що міститься в природному газу. Для отримання такої температури суміші необхідна дуже висока ступінь стиску $\varepsilon = 18...20$, при якій максимальний тиск згоряння в циліндрі двигуна може створити навантаження на деталі двигуна, які будуть представляти небезпеку для їх міцності.

2. На відміну від дизельного двигуна, в якому момент початку samozаймання впорскнутого палива регулюється паливною апаратурою (кутом випередження подачі палива), в «дизельному» ХРС момент samozаймання ГПС буде визначатися багатьма параметрами як двигуна (навантаження, тепловий стан, технічний стан деталей ЦПГ і кришки циліндру), так і газоповітряної суміші (тиском на початку стиску, фізико-хімічного складу, співвідношення газ-повітря та температури). Тому у випадку дизельного циклу керувати процесом отримання синтез-газу і забезпечувати сталу роботу двигуна по частоті обертання буде практично неможливо.

При застосуванні системи примусового запалювання є можливість керувати процесом підпалювання газоповітряної суміші одночасно як у всіх циліндрах двигуна, так і в окремих циліндрах за рахунок зміни кута випередження запалювання.

					ПННІ НУК 131.61.23.13 ПЗ	Лист
						18
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.3 Розробка схеми підведення газу і повітря, визначення необхідності підігріву газоповітряної суміші

Як вже вказувалося раніше, за базовий поршневий двигун для створення ХРС прийнятий газовий двигун без наддуву типу 6ГЧ25/34. Для вибраного газового двигуна розроблена принципова схема підводу метану (природного газу), повітря і рециркуляційного синтез-газу в циліндри двигуна. Основним елементом розробленої схеми (рис.4.1) є змішувальна камера 1, в якій змішуються поміж собою повітря, який надходить із атмосфери через фільтр - глушник 10, природний газ з параметрами, які регулюються в блоці газової апаратури 3, рециркуляційний синтез-газ із випускного трубопроводу двигуна 11. Приготовлена в змішувальній камері 1 робоча суміш метану з повітрям через заслінку 9 з приводом від актуатора регулятора швидкості двигуна поступає у впускний колектор 12 і далі в циліндри двигуна.

Для охолодження рециркуляційного синтез-газу до необхідної температури (50...60°C) в системі передбачений охолоджувач випускних газів 5 кожухотрубного типу із сталевими теплообмінними трубками Ø30x3. Для охолодження випускні гази подаються всередину трубок, а охолоджуюча вода омиває їх зовнішню поверхню. Вода в охолоджувач випускних газів 5 подається із системи охолодження зовнішнього контуру насосом води 13 відцентрового типу, який навішаний на двигун. Регулювання температури рециркуляційного синтез-газу на виході із охолоджувача виконується шляхом зміни кількості води, що подається на їх охолодження. Для цього на трубопроводі води охолоджувача випускних газів передбачений байпас (вентиль 14).

В розробленій схемі передбачено регулювання кількості метану (природного газу), що подається в змішувальну камеру 1 за допомогою вентилі 2. Кількість повітря, що подаються в змішувальну камеру 1, регулюється повітряною заслінкою 4, а кількість рециркуляційного синтез-газу регулюється вентилем кульовим 8. Всі вентилі і заслінки, крім заслінки 9, мають ручний привід і дають можливість регулювати склад робочої суміші в широкому

					ПННІ НУК 131.61.23.13 ПЗ	Лист
						19
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

діапазоні з визначенням оптимального співвідношенням поміж повітрям, метаном та рециркуляційним синтез-газом.

Перед пуском двигуна вентиль 8 необхідно закрити, а повітряну заслінку 4 і вентиль 2 відкрити. Після запуску двигуна і виходу на режим холостого ходу стабільність частоти обертання колінчастого валу забезпечуються за рахунок регулювання положень повітряної заслінки 4 і вентиля 2 подачі паливного газу.

Підігрів газоповітряної суміші необхідний для активації процесу окислення вуглеводневої сировини (метану). Для активації процесу окислення вуглеводневої сировини (метану) в ХРС застосовують попередні нагрів суміші до 200...450⁰С або подають продукти парціального окислення (синтез-газ) в кількості 10-20% до початкової сировини. Враховуючи негативний вплив підвищення температури суміші на роботу двигуна, для активації процесу окислення в нашому випадку в ХРС використовується частина отриманого синтез-газу шляхом його рециркуляції в початкову метаноповітряну суміш. При необхідності, температура робочої суміші може регулюватися за рахунок зміни температури рециркульованого синтез-газу після охолоджувача.

Параметри трубчатої секції теплообмінника 5 визначені відповідним розрахунком.

					ПННІ НУК 131.61.23.13 ПЗ	Лист
						20
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

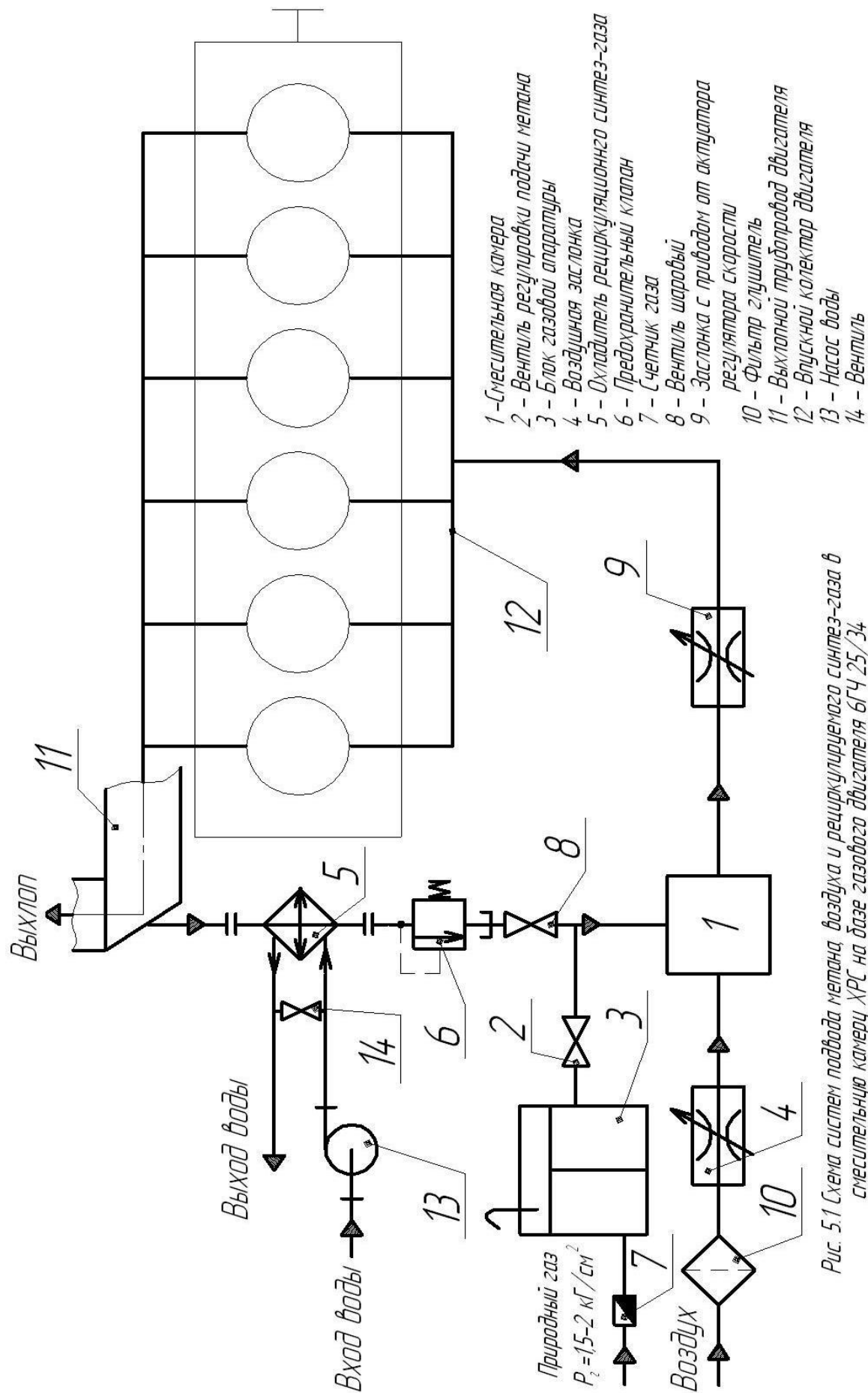


Рис. 5.1 Схема систем подвода метана, воздуха и рециркулируемого синтез-газа в смесительную камеру ХРС на базе газодвигателя 6ГЧ 25/34

Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ПННІ НУК 131.61.23.13 ПЗ

Лист

21

3.4 Обґрунтування необхідності часткової рециркуляції випускних газів

В розробленій схемі підведення газу і повітря в змішувальну камеру ХРС передбачена подача природного газу (метану) спільно з рециркуляційними випускними газами, що містять синтез – газ ($\text{CO} + \text{H}_2$). Наявність водню H_2 в газоповітряній суміші, що утворюється в змішувальній камері, і яка поступає в циліндри двигуна, позитивно впливає на процеси часткового згорання і парціального окислення метану CH_4 , тобто має місце активізація процесу парціального окислення метаноповітряної суміші в циліндрах двигуна. Перед змішуванням з природним газом (метаном) рециркуляційні випускні газы повинні охолоджуватися.

Для охолодження рециркуляційного синтез-газу до потрібної температури ($50\ldots 60^\circ\text{C}$) в системі передбачений охолоджувач випускних газів кожухотрубного типу із сталевими теплообмінними трубками $\varnothing 30 \times 3$. Охолоджувані випускні газы подаються всередину трубок, а охолоджуюча вода омиває їх зовнішню поверхню. Вода в охолоджувач випускних газів подається із системи охолодження зовнішнього контуру насосом води відцентрового типу, навішаного на двигун. Регулювання температури рециркуляційного синтез-газу на виході із охолоджувача виконується шляхом зміни кількості води, що подається на їх охолодження. Для цього на трубопроводі води охолоджувача випускних газів передбачений байпас.

Кількість рециркуляційного синтез-газу, що подається в змішувальну камеру, регулюються вентилем кульовим, який при першому пуску двигуна повинен бути закритим. Для активізації процесу окислення вуглеводневої сировини (метану) в ХРС подають продукти парціального окислення метану (синтез-газ) в кількості 10 – 20% до початкової сировини. При необхідності, температура робочої суміші може регулюватися за рахунок зміни температури рециркуляційного синтез-газу після охолоджувача.

					ПННІ НУК 131.61.23.13 ПЗ	Лист
						22
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.5 Розрахунок теплообмінника для охолодження рециркуляційних газів

Вихідні дані для розрахунку

1. Витрата рециркуляційного синтез-газу за годину	$G_{\text{РГ}} =$	255	кГ/год
2. Температура рециркуляційного синтез-газу на вході в теплообмінник	$t_1 =$	450	°C
3. Температура рециркуляційного синтез-газу на виході із теплообмінника	$t_2 =$	50	°C
4. Теплоємність випускних газів	$c_{\text{Г}} =$	1,05	кДж/кг·град
5. Витрата води через теплообмінник	$G_{\text{В}} =$	20000	кГ/ч
6. Теплоємність води	$c_{\text{В}} =$	4,19	кДж/кг·град
7. Газова постійна для випускних газів	$R =$	283	кДж/кг·град
8. Нормальний атмосферний тиск	$P_0 =$	0,1	МПа

Розрахунок

1. Густина випускних газів на вході в теплообмінник

$$\rho_1 = \frac{P_0}{R \cdot (t_1 + 273)}$$

$$\rho_{\text{Г}} = 0,489 \quad \text{кГ/м}^3$$

2. Об'ємна витрата випускних газів (рециркуляційного синтез-газу)

$$V_{\text{ВЫП. Г}} = \frac{G_{\text{ВЫП. Г}}}{\rho_1}$$

$$V_{\text{ВЫП.}} = 521,8 \quad \text{м}^3/\text{ч}$$

3. Середня швидкість випускних газів в теплопередаючих трубках теплообмінника, приймається по прототипу

$$v_{\text{ВЫП.}} = 25 \quad \text{м/с}$$

4. Необхідна площа проходних перерізів теплопередаючих трубок

$$F_{\text{тр}} = \frac{V_{\text{ВЫП. Г}}}{3600 \cdot v_{\text{ВЫП. Г}}}$$

$$F_{\text{тр.}} = 0,006 \quad \text{м}^2$$

5. Внутрішній діаметр теплопередаючої трубки
Ø30x3

$$d_{\text{ВН.}} = 0,024 \quad \text{м}$$

6.Необхідна кількість теплопередаючих трубок в одноходовому вогнетрубному теплообміннику

$$i = \frac{F_{mp}}{0,785 \cdot d_{\text{вн}}^2}$$

$$i = 13 \text{ шт.}$$

7.Кількість тепла, що відбирається в теплообміннику від рециркуляційних випускних газів

$$Q_T = c_{\Gamma} \cdot G_{\text{гг}} \cdot (t_1 - t_2) / 3600$$

$$Q_{\text{ТУВ}} = 29,8 \text{ кВт}$$

8.Температура охолоджуючої води на вході в ТУВ, приймається

$$t_{\text{в}1} = 20^{\circ}\text{C}$$

9.Температура охолоджуючої води на виході із теплообмінника

$$t_{\text{в}2} = t_{\text{в}1} + \frac{Q_{\text{ТУВ}}}{c_{\text{в}} \cdot G_{\text{в}}},^{\circ}\text{C}$$

$$t_{\text{в}2} = 21,3^{\circ}\text{C}$$

10.Середній температурний напір в теплообміннику

$$\Delta t = \frac{(t_{\Gamma1} - t_{\text{в}2}) - (t_{\Gamma2} - t_{\text{в}1})}{\ln \frac{t_{\Gamma1} - t_{\text{в}2}}{t_{\Gamma2} - t_{\text{в}1}}},^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta t = 149,9^{\circ}\text{C}$$

11.Коефіцієнт теплопередачі від випускних газів до охолоджуючої води, приймається по довідковій технічній літературі

$$k = 80 \text{ Вт/м}^2\text{град}$$

12.Розрахункова площа поверхні теплообміну ТУВ

$$F = \frac{Q_{\text{ТУВ}} \cdot 1000}{k \cdot \Delta t}$$

$$F = 2,5 \text{ м}^2$$

13.Довжина теплообмінних трубок

$$l_1 = \frac{F}{\pi \cdot d_{\text{вн}} \cdot i}, \text{ м}$$

$$l_1 = 2,566 \text{ м}$$

14. Довжина теплообмінних трубок при
двохходовому теплообміннику $l_2 = l_1/2$

$l_2 = 1,283$ м

3.6 РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ ХРС ПРИ $\alpha=0,5; 0,65; 0,8$

3.6.1 Розрахунок параметрів робочого циклу хімічного реактору стиску (ХРС) при $\alpha=0,5$

Задачею розрахунку робочого процесу ХРС являється знаходження основних параметрів газового двигуна - максимальної температури процесу, ступеня стиску, максимального тиску згоряння, складу газоповітряної суміші на вході в двигун і складу продуктів згоряння (синтез-газу) на виході із двигуна. Також визначається очікувана ефективна потужність двигуна, об'ємні та масові витрати газоповітряної суміші і випускного синтез-газу, діаметри трубопроводів для їх подачі в

1. Вихідні дані для розрахунку

1. Діаметр циліндру	$D =$	0,25	м
2. Хід поршня	$S =$	0,34	м
3. Число циліндрів	$i =$	6	
4. Число оборотів двигуна	$n =$	500	об/хв
5. Ступінь стиску	$\varepsilon =$	10,5	
6. Показник політропи стиску	$n_1 =$	1,35	
7. Температура газо-повітряної суміші (ГПС) в циліндрі двигуна	$T_{ГПС} =$	310	К
8. Тиск ГПС в циліндрі двигуна	$p_{ГПС} =$	95000	Па
9. Коефіцієнт наповнення циліндру газоповітряною сумішю і випускними газами	$\eta_H =$	0,95	
10. Кількість повітря, теоретично необхідного для повного згоряння палива:			
- метану CH_4	$L_{CH_4} =$	9,52	$м^3/м^3$
- водню H_2	$L_{H_2} =$	2,38	$м^3/м^3$
- оксиду вуглецю CO	$L_{CO} =$	2,38	$м^3/м^3$
11. Температура самозаймання:			
- метану CH_4	$t_{CH_4} =$	590-690	$^{\circ}C$
- водню H_2	$t_{H_2} =$	550-600	$^{\circ}C$
- оксиду вуглецю CO	$t_{CO} =$	625-675	$^{\circ}C$

12. Нижча теплота згоряння

- метану CH_4	$Q_{\text{CH}_4} =$	33852	кДж/м ³
- водню H_2	$Q_{\text{H}_2} =$	10226	кДж/м ³
- оксиду вуглецю CO	$Q_{\text{CO}} =$	12035	кДж/м ³

13. Універсальна газова постійна

- метану CH_4	$R_{\text{CH}_4} =$	520	Дж/кг·град
- водню H_2	$R_{\text{H}_2} =$	4157	Дж/кг·град
- оксиду вуглецю CO	$R_{\text{CO}} =$	297	Дж/кг·град
- повітря	$R_{\text{BO}_3} =$	287	Дж/кг·град
- азоту N_2	$R_{\text{N}_2} =$	297	Дж/кг·град
- вуглекислого газу CO_2	$R_{\text{CO}_2} =$	189	Дж/кг·град

14. Максимальна величина нормальної швидкості поширення полум'я:

- метану CH_4	$v_{\text{CH}_4} =$	0,35	м/с
- водню H_2	$v_{\text{H}_2} =$	3,2	м/с
- оксиду вуглецю CO	$v_{\text{CO}} =$	0,42	м/с

15. Коефіцієнт надлишку повітря, що відповідає нижній концентраційній границі

- метану CH_4	$\alpha_{\text{CH}_4} =$	2
- водню H_2	$\alpha_{\text{H}_2} =$	10
- оксиду вуглецю CO	$\alpha_{\text{CO}} =$	2,95

15. Коефіцієнт надлишку повітря, що відповідає верхній концентраційній границі

- метану CH_4	$\alpha_{\text{CH}_4} =$	0,65
- водню H_2	$\alpha_{\text{H}_2} =$	0,15
- оксиду вуглецю CO	$\alpha_{\text{CO}} =$	0,15

17. Коефіцієнт надлишку повітря для згоряння:

- метану CH_4	$\alpha_{\text{CH}_4} =$	0,5
- водню H_2	$\alpha_{\text{H}_2} =$	1
- оксиду вуглецю CO	$\alpha_{\text{CO}} =$	1

18. Об'ємний вміст рециркуляційних випускних газів в газоповітряній суміші $\phi_{BG} = 0,15$

19. Об'ємний склад синтез-газу, що подається в циліндри двигуна з випускними газами при їх рециркуляції (по результатам випробування газового двигуна 6ГЧН36/45)

- водень H_2	$a_{H_2} =$	0,5
- оксид вуглецю CO	$a_{CO} =$	0,31
- вуглекислий газ CO_2	$a_{CO_2} =$	0,19

2. Розрахунок параметрів газоповітряної суміші

1. Об'єм газоповітряної суміші в циліндрі безнаддувного газового двигуна

$$V_{\Pi} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot S \cdot \eta_H$$

$$V_{\Pi} = 0,0158 \quad m^3$$

2. Вміст рециркуляційного водню H_2 в циліндрі двигуна $V_{H_2P} = 0,21 \cdot V_{\Pi} \cdot \phi_{BG} \cdot a_{H_2}$

$$V_{H_2P} = 0,00025 \quad m^3$$

$$V_{H_2P} = 1,6 \quad \%$$

3. Вміст рециркуляційного оксиду вуглецю CO в циліндрі двигуна $V_{CO} = 0,21 \cdot V_{\Pi} \cdot \phi_{BG} \cdot a_{CO}$

$$V_{CO} = 0,00015 \quad m^3$$

$$V_{CO} = 1,0 \quad \%$$

3. Вміст рециркуляційного азоту N_2 в циліндрі двигуна $V_{N_2P} = 0,79 \cdot V_{\Pi} \cdot \phi_{BG}$

$$V_{N_2P} = 0,00188 \quad m^3$$

$$V_{N_2P} = 11,9 \quad \%$$

4. Вміст рециркуляційного вуглекислого газу CO_2 в циліндрі двигуна $V_{CO_2P} = 0,21 \cdot V_{\Pi} \cdot \phi_{BG} \cdot a_{CO_2}$

$$V_{CO_2P} = 0,00009 \quad m^3$$

$$V_{CO2P} = 0,60 \quad \%$$

5. Кількість повітря, необхідного для спалювання рециркуляційних водню H_2 та оксиду вуглецю CO в циліндрі двигуна

$$V_{B(H2+CO)} = \alpha_{H2} \cdot V_{H2} \cdot L_{H2} + \alpha_{CO} \cdot V_{CO} \cdot L_{CO}$$

$$V_{B(H2+CO)} = 0,00096 \quad m^3$$

6.Объемный вміст природного газу (метану) в циліндрі двигуна

$$V_{CH4} = \frac{V_{\Pi} \cdot (1 - \phi_{BG}) - V_{B(H2+CO)}}{\alpha_{CH4} \cdot L_{CH4} + 1}$$

$$V_{CH4} = 0,0022 \quad m^3$$

7.Объемный вміст повітря для згоряння метану в циліндрі двигуна

$$V_{BCH4} = L_0 \cdot \alpha_{CH4} \cdot V_{CH}$$

$$V_{BCH4} = 0,01034 \quad m^3$$

8. Сумарний объемный вміст повітря в циліндрі двигуна $V_{B\Pi} = V_{BCH4} + V_{B(H2+CO)}$

$$V_{B\Pi} = 0,0113 \quad m^3$$

$$V_{B\Pi} = 71,3 \quad \%$$

9. Сумарний об'єм компонентів ГПС в циліндрі двигуна

$$V_{\Pi ГВС} = V_{B\Pi} + V_{CO2P} + V_{CO2P} + V_{CH4} + V_{H2P} + V_{N2P} = V_{\Pi}$$

$$V_{\Pi ГВС} = 0,01585 \quad m^3$$

10.Процентний вміст метану в газоповітряній суміші циліндру двигуна

$$\delta_{CH4} = \frac{V_{CH4}}{V_{\Pi}} \cdot 100\%$$

$$\delta_{CH4} = 13,7 \quad \%$$

11. Объемна витрата повітря через змішувальну камеру $V_B = V_{B\Pi} \cdot 30 \cdot n \cdot i$

$$V_B = 1017 \quad m^3/\text{ГОД}$$

12. Объемна витрата природного газу в змішувальну камеру $V_{\Gamma} = V_{CH4} \cdot 30 \cdot n \cdot i$

$$V_{\Gamma} = 195 \quad m^3/\text{ГОД}$$

13. Теплова потужність природного газу $P_{\Gamma} = V_{\Gamma} \cdot Q_{CH_4} / 3600$	$P_{\Gamma} =$	1838	кВт
14. Обємна витрата охолоджених рециркуляційних випускних газів в змішувальну камеру $V_{BG} = V_{\Pi} \cdot \phi_{BG} \cdot 30 \cdot n \cdot i$	$V_{BG} =$	214	м ³ /год
15. Обємна витрата ГПС через змішувальну камеру $V_{GBC} = V_{\Pi} \cdot 30 \cdot n \cdot i = V_B + V_{\Gamma} + V_{BG}$	$V_{GBC} =$	1426	м ³ /год
16. Теоретична кількість теплоти, яка виділяється при згорянні частини метану та синтез-газу в циліндрі двигуна за один робочий цикл $Q_{\Pi} = \alpha_{CH_4} \cdot V_{CH_4} \cdot Q_{CH_4} + V_{CO} \cdot Q_{CO} + V_{H_2} \cdot P \cdot Q_{H_2}$	$Q_{\Pi} =$	41,2	кДж
17. Густина повітря в циліндрі двигуна $\rho_B = P_{GBC} / (R_B \cdot T_{GBC})$	$\rho_B =$	1,07	кг/м ³
18. Густина метану CH ₄ в циліндрі $\rho_{CH_4} = P_{GBC} / (R_{CH_4} \cdot T_{GBC})$	$\rho_{CH_4} =$	0,59	кг/м ³
19. Густина рециркуляційного водню H ₂ в циліндрі $\rho_{H_2} = P_{GBC} / (R_{H_2} \cdot T_{GBC})$	$\rho_{H_2} =$	0,07	кг/м ³
20. Густина рециркуляційного оксиду вуглецю CO в циліндрі $\rho_{CO} = P_{GBC} / (R_{CO} \cdot T_{GBC})$	$\rho_{CO} =$	1,03	кг/м ³
21. Густина рециркуляційного азоту N ₂ в циліндрі $\rho_{N_2} = P_{GBC} / (R_{N_2} \cdot T_{GBC})$	$\rho_{N_2} =$	1,07	кг/м ³
22. Густина рециркуляційного вуглекислого газу CO ₂ в циліндрі $\rho_{CO_2} = P_{GBC} / (R_{CO_2} \cdot T_{GBC})$	$\rho_{CO_2} =$	1,62	кг/м ³
23. Густина водяної пари H ₂ O	$\rho_{H_2O} =$	0,03	кг/м ³
24. Маса повітря в циліндрі двигуна $m_B = \rho_B \cdot V_{\Pi}$	$m_B =$	0,012	кг

24. Масова витрата повітря в змішувальну камеру двигуна $M_B = m_B \cdot 30 \cdot n \cdot i$	$M_B =$	1087	кг/год
25. Маса метану CH_4 в циліндрі двигуна $m_{CH_4} = \rho_{CH_4} \cdot V_{ГЦ}$	$m_{CH_4} =$	0,00128	кг
26. Масова витрата метану CH_4 в змішувальну камеру $M_{CH_4} = m_{CH_4} \cdot 30 \cdot n \cdot i$	$M_{CH_4} =$	115	кг/год
27. Маса рециркуляційного водню H_2 в циліндрі двигуна $m_{H_2P} = \rho_{H_2} \cdot V_{H_2P}$	$m_{H_2P} =$	0,00002	кг
28. Масова витрата рециркуляційного водню H_2 в змішувальну камеру $M_{H_2P} = m_{H_2P} \cdot 30 \cdot n \cdot i$	$M_{H_2P} =$	1,7	кг/год
29. Маса рециркуляційного оксиду вуглецю CO в циліндрі двигуна $m_{COP} = \rho_{CO} \cdot V_{COP}$	$m_{COP} =$	0,00016	кг
30. Масова витрата рециркуляційного оксиду вуглецю CO в змішувальну камеру $M_{COP} = m_{COP} \cdot 30 \cdot n \cdot i$	$M_{COP} =$	14	кг/год
31. Маса рециркуляційного вуглекислого газу CO_2 в циліндрі двигуна $m_{CO_2P} =$	$m_{CO_2P} =$	0,00015	кг
32. Масова витрата рециркуляційного вуглекислого газу CO_2 в змішувальну камеру $M_{CO_2P} = m_{CO_2P} \cdot 30 \cdot n \cdot i$	$M_{CO_2P} =$	14	кг/год
33. Маса рециркуляційного азоту N_2 в циліндрі двигуна $m_{N_2P} = \rho_{N_2} \cdot V_{N_2P}$	$m_{N_2P} =$	0,0020	кг
34. Масова витрата рециркуляційного азоту N_2 в змішувальну камеру $M_{N_2P} = m_{N_2P} \cdot 30 \cdot n \cdot i$	$M_{N_2P} =$	181	кг/год
35. Маса ГПС в циліндрі двигуна $m_{ГВС} = m_B + m_{CH_4} + m_{H_2P} + m_{COP} + m_{CO_2P} + m_{N_2P}$	$m_{ГВС} =$	0,01570	кг

36. Масова витрата ГПС через змішувальну камеру

$$M_{ГВС} = m_{ГВС} \cdot 30 \cdot n \cdot i$$

$$M_{ГПС} = 1413 \text{ кг/ГОД}$$

37. Максимальна температура робочого циклу, приймається по довідковій літературі

$$t_{\max} = 2200 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

38. Масові теплоємкості газів при постійному тиску та температурі $t_{\max}$:

повітря $c_{\text{пов.}} = 0,9201 + 0,000106 \cdot t_{\max}$

$$c_{\text{возд.}} = 1,153 \text{ кДж/кг} \cdot \text{град}$$

азоту $c_{N_2} = 1,0239 + 0,000089 \cdot t_{\max}$

$$c_{N_2} = 1,220 \text{ кДж/кг} \cdot \text{град}$$

оксиду вуглецю $c_{CO} = 1,0302 + 0,00009 \cdot t_{\max}$

$$c_{CO} = 1,228 \text{ кДж/кг} \cdot \text{град}$$

вуглекислого газу $c_{CO_2} = 0,8724 + 0,00024 \cdot t_{\max}$

$$c_{CO_2} = 1,400 \text{ кДж/кг} \cdot \text{град}$$

водню H_2 $c_{H_2} = 14,1922 + 0,00125 \cdot t_{\max}$

$$c_{H_2} = 16,942 \text{ кДж/кг} \cdot \text{град}$$

метану CH_4 $c_{CH_4} = 1,3136 + 0,000169 \cdot t_{\max}$

$$c_{CH_4} = 1,685 \text{ кДж/кг} \cdot \text{град}$$

39. Максимальна температура газів в циліндрі двигуна

$$t_{\max} = (T_{ГВС} - 273) + \frac{Q_{ц}}{m_{\text{возд.}} \cdot c_{\text{возд.}} + m_{CO_2} \cdot c_{CO_2} + m_{N_2} \cdot c_{N_2} + m_{CO} \cdot c_{CO} + m_{H_2} \cdot c_{H_2}}$$

$$t_{\max} = 2175 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\max} = 2448 \text{ К}$$

40. Тиск ГПС в кінці такту стиску

$$p_c = p_{ГВС} \cdot \epsilon^{n_1}$$

$$p_c = 2271586 \text{ Па}$$

$$p_c = 23 \text{ бар}$$

41. Температура ГПС в кінці такта стиску

$$T_c = T_{ГВС} \cdot \epsilon^{n_1 - 1}$$

$$T_c = 706 \text{ К}$$

$$t_c = 433 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

42. Теоретичний максимальний тиск згоряння

$$p_{\max T} = p_c \cdot T_{\max} / T_c$$

$$p_{\max T} = 80 \text{ бар}$$

43. Дійсний максимальний тиск згоряння

$$p_{\max д} = 0,85 \cdot p_{\max T}$$

$$p_{\max д} = 68 \text{ бар}$$

3. Визначення параметрів продуктів згоряння газоповітряної суміші

1.Об'ємний вміст азоту N₂ в продуктах згоряння

$$\begin{aligned} \text{ГПС (за цикл)} \quad v_{N_2} &= 0,79 \cdot v_{\text{Ц}} \cdot \varphi_{\text{ВГ}} + 0,79 \cdot v_{\text{В}} & v_{N_2} &= 0,0108 & \text{м}^3 \\ & & v_{N_2} &= 57,2 & \% \end{aligned}$$

2.Об'ємний вміст вуглекислого газу CO₂ в

$$\begin{aligned} \text{продуктах згоряння ГПС (за цикл)} \quad v_{\text{CO}_2} &= v_{\text{CO}_2\text{P}} + v_{\text{CH}_4} \cdot \alpha_{\text{CH}_4} + v_{\text{CO}_2\text{P}} & v_{\text{CO}_2} &= 0,00134 & \text{м}^3 \\ & & v_{\text{CO}_2} &= 7,1 & \% \end{aligned}$$

3.Об'ємний вміст водяної пари в продуктах згоряння ГПС (за цикл)

$$\begin{aligned} v_{\text{H}_2\text{O}} &= v_{\text{H}_2\text{P}} + 2 \cdot \alpha_{\text{CH}_4} \cdot v_{\text{CH}_4} & v_{\text{H}_2\text{O}} &= 0,0024 & \text{м}^3 \\ & & v_{\text{H}_2\text{O}} &= 12,8 & \% \end{aligned}$$

4.Об'ємний вміст СО и Н₂ в продуктах згоряння

$$\begin{aligned} \text{ГПС (за цикл)} \quad v_{\text{CO}+\text{H}_2} &= 0,42 \cdot (1 - \alpha_{\text{CH}_4}) \cdot L_{\text{CH}_4} \cdot v_{\text{CH}_4} & v_{\text{CO}+\text{H}_2} &= 0,0043 & \text{м}^3 \\ & & v_{\text{CO}+\text{H}_2} &= 23,0 & \% \end{aligned}$$

5.Об'ємний вміст СО в продуктах згоряння ГПС (за цикл)

$$\begin{aligned} v_{\text{CO}} &= v_{\text{H}_2+\text{CO}} / (1 + a_{\text{H}_2}/a_{\text{CO}}) & v_{\text{CO}} &= 0,0017 & \text{м}^3 \\ & & v_{\text{CO}} &= 8,8 & \% \end{aligned}$$

6.Об'ємний вміст водню Н₂ в продуктах

$$\begin{aligned} \text{згоряння ГПС (за цикл)} \quad v_{\text{H}_2} &= v_{\text{H}_2+\text{CO}} - v_{\text{CO}} & v_{\text{H}_2} &= 0,0027 & \text{м}^3 \\ & & v_{\text{H}_2} &= 14,2 & \% \end{aligned}$$

7. Сумарний об'єм продуктів згоряння ГПС (за цикл)

$$v_{\text{ГПС}} = v_{N_2} + v_{\text{CO}_2} + v_{\text{H}_2\text{O}} + v_{\text{CO}} + v_{\text{H}_2} \quad v_{\text{ГПС}} = 0,0189 \quad \text{м}^3$$

8. Об'ємна витрата азоту N₂ у випускних газах

$$V_{N_2} = v_{N_2} \cdot 30 \cdot n \cdot i \quad V_{N_2} = 972 \quad \text{м}^3/\text{ГОД}$$

9. Об'ємна витрата СО у випускних газах $V_{CO} = v_{CO} \cdot 30 \cdot n \cdot i$	$V_{CO} =$	150	м ³ /ГОД
10. Об'ємна витрата СО ₂ у випускних газах $V_{CO2} = v_{CO2} \cdot 30 \cdot n \cdot i$	$V_{CO2} =$	120	м ³ /ГОД
11. Об'ємна витрата водяної пари Н ₂ О у випускних газах $V_{H2O} = v_{H2O} \cdot 30 \cdot n \cdot i$	$V_{H2O} =$	218	м ³ /ГОД
12. Об'ємна витрата водню Н ₂ у випускних газах $V_{H2} = v_{H2} \cdot 30 \cdot n \cdot i$	$V_{H2} =$	241	м ³ /ГОД
13. Фактичний об'єм СО, що виробляється в ХРС $V_{COФ} = V_{CO} - V_{COP} \cdot 30 \cdot n \cdot i$	$V_{COФ} =$	136	м ³ /ГОД
14. Фактичний об'єм Н ₂ , що виробляється в ХРС $V_{H2Ф} = V_{H2} - v_{H2P} \cdot 30 \cdot n \cdot i$	$V_{H2Ф} =$	219	м ³ /ГОД
15. Теплова потужність синтез-газу $P_{CT} = (V_{COФ} \cdot Q_{CO} + V_{H2Ф} \cdot Q_{H2}) / 3600$	$P_{CT} =$	1075	кВт
16. Теплова потужність початкового метану метану $P_{CH4} = V_{CH4} \cdot Q_{CH4} / 3600$	$P_{CH4} =$	1838	кВт
17. Масова витрата N ₂ у випускних газах	$m_{N2} =$	1039	кг/ГОД
18. Масова витрата СО у випускних газах $m_{CO} = V_{CO} \cdot \rho_{CO}$	$m_{CO} =$	154	кг/ГОД
19. Масова витрата СО ₂ у випускних газах $m_{CO2} = V_{CO2} \cdot \rho_{CO2}$	$m_{CO2} =$	195	кг/ГОД
20. Масова витрата водяної пари Н ₂ О у випускних газах $m_{H2O} = V_{H2O} \cdot \rho_{H2O}$	$m_{H2O} =$	7	кг/ГОД
21. Масова витрата водню Н ₂ у випускних газах $m_{H2} = V_{H2} \cdot \rho_{H2}$	$m_{H2} =$	18	кг/ГОД

22. Масова витрата випускних газів

$$m_{BG} = m_{N_2} + m_{CO} + m_{CO_2} + m_{H_2O} + m_{H_2}$$

$$m_{BG} = \underline{1413} \quad \text{кг/год}$$

4. Визначення ефективної потужності газового двигуна при роботі в режимі виробництва синтез-газу

1. Кількість тепла, що виділяється в циліндрах двигуна за 1 годину його роботи

$$Q_{Tч} = Q_{Ц} \cdot 30 \cdot n \cdot i$$

$$Q_T = 3705265 \quad \text{кДж/год}$$

$$Q_T = 1029,24 \quad \text{кВт}$$

2. Ефективний ККД газового двигуна без наддуву

$$\eta_e = 0,28$$

3. Ефективна потужність газового двигуна

$$P_e = Q_{Tч} \cdot \eta_e / 3600$$

$$P_e = 288 \quad \text{кВт}$$

4. КПД електрогенератора

$$\eta_{Г} = 0,93$$

5. Номинальна потужність двигун-генератора

$$P_{дг} = P_e \cdot \eta_{Г}$$

$$P_{дг} = 268 \quad \text{кВт}$$

3.6.2 Розрахунок параметрів робочого циклу хімічного реактору стиску (ХРС) при коефіцієнті надлишку повітря $\alpha = 0,65$

Задачею розрахунку робочого процесу ХРС являється знаходження основних параметрів газового двигуна - максимальної температури процесу, ступеня стиску, максимального тиску згоряння, складу газоповітряної суміші на вході в двигун і складу продуктів згоряння (синтез-газу) на виході із двигуна. Також визначається очікувана ефективна потужність двигуна, об'ємні та масові витрати газоповітряної суміші і випускного синтез-газу, діаметри трубопроводів для їх подачі в

1. Вихідні дані для розрахунку

1. Діаметр циліндру	$D =$	0,25	м
2. Хід поршня	$S =$	0,34	м
3. Число циліндрів	$i =$	6	
4. Число оборотів двигуна	$n =$	500	об/хв
5. Ступінь стиску	$\varepsilon =$	10,5	
6. Показник політропи стиску	$n_1 =$	1,37	
7. Температура газо-повітряної суміші (ГПС) в циліндрі двигуна	$T_{\text{ГПС}} =$	310	К
8. Тиск ГПС в циліндрі двигуна	$p_{\text{ГПС}} =$	95000	Па
9. Коефіцієнт наповнення циліндру газо-повітряною сумішю і випускними газами	$\eta_{\text{H}} =$	0,95	
10. Кількість повітря, теоретично необхідного для повного згоряння палива:			
- метану CH_4	$L_{\text{CH}_4} =$	9,52	$\text{м}^3/\text{м}^3$
- водню H_2	$L_{\text{H}_2} =$	2,38	$\text{м}^3/\text{м}^3$
- оксиду вуглецю CO	$L_{\text{CO}} =$	2,38	$\text{м}^3/\text{м}^3$
11. Температура самозаймання:			
- метану CH_4	$t_{\text{CH}_4} =$	590-690	$^{\circ}\text{C}$
- водню H_2	$t_{\text{H}_2} =$	550-600	$^{\circ}\text{C}$
- оксиду вуглецю CO	$t_{\text{CO}} =$	625-675	$^{\circ}\text{C}$
12. Нижча теплота згоряння			

- метану CH_4	$Q_{\text{CH}_4} =$	33852	кДж/м^3
- водню H_2	$Q_{\text{H}_2} =$	10226	кДж/м^3
- оксиду вуглецю CO	$Q_{\text{CO}} =$	12035	кДж/м^3

13. Універсальна газова постійна

- метану CH_4	$R_{\text{CH}_4} =$	520	$\text{Дж/кг} \cdot \text{град}$
- водню H_2	$R_{\text{H}_2} =$	4157	$\text{Дж/кг} \cdot \text{град}$
- оксиду вуглецю CO	$R_{\text{CO}} =$	297	$\text{Дж/кг} \cdot \text{град}$
- повітря	$R_{\text{BO}_3} =$	287	$\text{Дж/кг} \cdot \text{град}$
- азоту N_2	$R_{\text{N}_2} =$	297	$\text{Дж/кг} \cdot \text{град}$
- вуглекислого газу CO_2	$R_{\text{CO}_2} =$	189	$\text{Дж/кг} \cdot \text{град}$

14. Максимальна величина нормальної швидкості поширення полум'я:

- метану CH_4	$v_{\text{CH}_4} =$	0,35	м/с
- водню H_2	$v_{\text{H}_2} =$	3,2	м/с
- оксиду вуглецю CO	$v_{\text{CO}} =$	0,42	м/с

15. Коефіцієнт надлишку повітря, що відповідає нижній концентраційній границі

- метану CH_4	$\alpha_{\text{CH}_4} =$	2
- водню H_2	$\alpha_{\text{H}_2} =$	10
- оксиду вуглецю CO	$\alpha_{\text{CO}} =$	2,95

15. Коефіцієнт надлишку повітря, що відповідає верхній концентраційній границі

- метану CH_4	$\alpha_{\text{CH}_4} =$	0,65
- водню H_2	$\alpha_{\text{H}_2} =$	0,15
- оксиду вуглецю CO	$\alpha_{\text{CO}} =$	0,15

17. Коефіцієнт надлишку повітря для згоряння:

- метану CH_4	$\alpha_{\text{CH}_4} =$	0,65
- водню H_2	$\alpha_{\text{H}_2} =$	1
- оксиду вуглецю CO	$\alpha_{\text{CO}} =$	1

18. Об'ємний вміст рециркуляційних випускних газів в газоповітряній суміші

$$\varphi_{\text{ВГ}} = 0,15$$

19.Об'ємний склад синтез-газу, що подається в циліндри двигуна з випускними газами при їх рециркуляції (по результатам випробування газового двигуна 6ГЧН36/45)

- водень H_2	$a_{H_2} =$	0,5
- оксид вуглецю CO	$a_{CO} =$	0,31
- вуглекислий газ CO_2	$a_{CO_2} =$	0,19

2. Розрахунок параметрів газоповітряної суміші

1.Об'єм газоповітряної суміші в циліндрі безнаддувного газового двигуна

$$V_{\Pi} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot S \cdot \eta_H$$

$$V_{\Pi} = 0,0158 \quad m^3$$

2.Вміст рециркуляційного водню H_2 в циліндрі двигуна

$$V_{H_2P} = 0,21 \cdot V_{\Pi} \cdot \phi_{BG} \cdot a_{H_2}$$

$$V_{H_2P} = 0,00025 \quad m^3$$

$$V_{H_2P} = 1,6 \quad \%$$

3.Вміст рециркуляційного оксиду вуглецю CO в циліндрі двигуна

$$V_{COP} = 0,21 \cdot V_{\Pi} \cdot \phi_{BG} \cdot a_{CO}$$

$$V_{COP} = 0,00015 \quad m^3$$

$$V_{COP} = 1,0 \quad \%$$

3.Вміст рециркуляційного азоту N_2 в циліндрі двигуна

$$V_{N_2P} = 0,79 \cdot V_{\Pi} \cdot \phi_{BG}$$

$$V_{N_2P} = 0,00188 \quad m^3$$

$$V_{N_2P} = 11,9 \quad \%$$

4.Вміст рециркуляційного вуглекислого газу CO_2 в циліндрі двигуна

$$V_{CO_2P} = 0,21 \cdot V_{\Pi} \cdot \phi_{BG} \cdot a_{CO_2}$$

$$V_{CO_2P} = 0,00009 \quad m^3$$

$$V_{CO_2P} = 0,60 \quad \%$$

5. Кількість повітря, необхідного для спалювання рециркуляційних водню H_2 та оксиду вуглецю CO в циліндрі двигуна
 $V_{B(H_2+CO)} = \alpha_{H_2} \cdot V_{H_2} \cdot L_{H_2} + \alpha_{CO} \cdot V_{CO} \cdot L_{CO}$

$$V_{B(H_2+CO)} = 0,00096 \quad m^3$$

6.Объемний вміст природного газу (метану) в циліндрі двигуна

$$V_{CH_4} = \frac{V_{\text{ц}} \cdot (1 - \phi_{BG}) - V_{B(H_2+CO)}}{\alpha_{CH_4} \cdot L_{CH_4} + 1}$$

$$V_{CH_4} = 0,0017 \quad m^3$$

7.Объемний вміст повітря для згоряння метану в циліндрі двигуна

$$V_{BCH_4} = L_0 \cdot \alpha_{CH_4} \cdot V_{CH_4}$$

$$V_{BCH_4} = 0,01077 \quad m^3$$

8. Сумарний объемний вміст повітря в циліндрі двигуна $V_{B\text{ц}} = V_{BCH_4} + V_{B(H_2+CO)}$

$$V_{B\text{ц}} = 0,01173 \quad m^3$$

$$V_{B\text{ц}} = 74,0 \quad \%$$

9. Сумарний об'єм компонентів ГПС в циліндрі двигуна

$$V_{\text{цГВС}} = V_{B\text{ц}} + V_{\text{COP}} + V_{\text{CO2P}} + V_{CH_4} + V_{H_2P} + V_{N_2P} = V_{\text{ц}}$$

$$V_{\text{цГВС}} = 0,01585 \quad m^3$$

10.Процентний вміст метану в газоповітряній суміші циліндру двигуна

$$\delta_{CH_4} = \frac{V_{CH_4}}{V_{\text{ц}}} \cdot 100\%$$

$$\delta_{CH_4} = 11,0 \quad \%$$

11. Объемна витрата повітря через змішувальну камеру $V_B = V_{B\text{ц}} \cdot 30 \cdot n \cdot i$

$$V_B = 1056 \quad m^3/\text{год}$$

12. Объемна витрата природного газу в змішувальну камеру $V_{\Gamma} = V_{CH_4} \cdot 30 \cdot n \cdot i$

$$V_{\Gamma} = 157 \quad m^3/\text{год}$$

13. Теплова потужність природного газу $P_{\Gamma} = V_{\Gamma} \cdot Q_{CH_4} / 3600$

$$P_{\Gamma} = 1473 \quad \text{кВт}$$

14. Об'ємна витрата охолоджених рециркуляційних випускних газів в змішувальну камеру $V_{BG} = V_{Ц} \cdot \varphi_{BG} \cdot 30 \cdot n \cdot i$	$V_{BG} =$	214	м ³ /ГОД
15. Об'ємна витрата ГПС через змішувальну камеру $V_{ГВС} = V_{Ц} \cdot 30 \cdot n \cdot i = V_B + V_G + V_{BG}$	$V_{ГВС} =$	1426	м ³ /ГОД
16. Теоретична кількість теплоти, яка виділяється при згорянні частини метану та синтез-газу в циліндрі двигуна за один робочий цикл $Q_{Ц} = \alpha_{CH_4} \cdot V_{CH_4} \cdot Q_{CH_4} + V_{CO} \cdot Q_{CO} + V_{H_2} P \cdot Q_{H_2}$	$Q_{Ц} =$	42,7	кДж
17. Густина повітря в циліндрі двигуна $\rho_B = P_{ГВС} / (R_B \cdot T_{ГВС})$	$\rho_B =$	1,07	кг/м ³
18. Густина метану CH ₄ в циліндрі $\rho_{CH_4} = P_{ГВС} / (R_{CH_4} T_{ГВС})$	$\rho_{CH_4} =$	0,59	кг/м ³
19. Густина рециркуляційного водню H ₂ в циліндрі $\rho_{H_2} = P_{ГВС} / (R_{H_2} \cdot T_{ГВС})$	$\rho_{H_2} =$	0,07	кг/м ³
20. Густина рециркуляційного оксиду вуглецю CO в циліндрі $\rho_{CO} = P_{ГВС} / (R_{CO} \cdot T_{ГВС})$	$\rho_{CO} =$	1,03	кг/м ³
21. Густина рециркуляційного азоту N ₂ в циліндрі $\rho_{N_2} = P_{ГВС} / (R_{N_2} \cdot T_{ГВС})$	$\rho_{N_2} =$	1,07	кг/м ³
22. Густина рециркуляційного вуглекислого газу CO ₂ в циліндрі $\rho_{CO_2} = P_{ГВС} / (R_{CO_2} \cdot T_{ГВС})$	$\rho_{CO_2} =$	1,62	кг/м ³
23. Густина водяної пари H ₂ O	$\rho_{H_2O} =$	0,03	кг/м ³
24. Маса повітря в циліндрі двигуна $m_B = \rho_B \cdot V_{Ц}$	$m_B =$	0,013	кг

24. Масова витрата повітря в змішувальну камеру двигуна $M_B = m_B \cdot 30 \cdot n \cdot i$	$M_B =$	1128	кг/ГОД
25. Маса метану CH_4 в циліндрі двигуна $m_{CH_4} = \rho_{CH_4} \cdot V_{ГЦ}$	$m_{CH_4} =$	0,00103	кг
26. Масова витрата метану CH_4 в змішувальну камеру $M_{CH_4} = m_{CH_4} \cdot 30 \cdot n \cdot i$	$M_{CH_4} =$	92	кг/ГОД
27. Маса рециркуляційного водню H_2 в циліндрі двигуна $m_{H_2P} = \rho_{H_2} \cdot V_{H_2P}$	$m_{H_2P} =$	0,00002	кг
28. Масова витрата рециркуляційного водню H_2 в змішувальну камеру $M_{H_2P} = m_{H_2P} \cdot 30 \cdot n \cdot i$	$M_{H_2P} =$	1,7	кг/ГОД
29. Маса рециркуляційного оксиду вуглецю CO в циліндрі двигуна $m_{COP} = \rho_{CO} \cdot V_{COP}$	$m_{COP} =$	0,00016	кг
30. Масова витрата рециркуляційного оксиду вуглецю CO в змішувальну камеру $M_{COP} = m_{COP} \cdot 30 \cdot n \cdot i$	$M_{COP} =$	14	кг/ГОД
31. Маса рециркуляційного вуглекислого газу CO_2 в циліндрі двигуна $m_{CO_2P} = \rho_{CO_2} \cdot V_{CO_2P}$	$m_{CO_2P} =$	0,00015	кг
32. Масова витрата рециркуляційного вуглекислого газу CO_2 в змішувальну камеру $M_{CO_2P} = m_{CO_2P} \cdot 30 \cdot n \cdot i$	$M_{CO_2P} =$	14	кг/ГОД
33. Маса рециркуляційного азоту N_2 в циліндрі двигуна $m_{N_2P} = \rho_{N_2} \cdot V_{N_2P}$	$m_{N_2P} =$	0,0020	кг
34. Масова витрата рециркуляційного азоту N_2 в змішувальну камеру $M_{N_2P} = m_{N_2P} \cdot 30 \cdot n \cdot i$	$M_{N_2P} =$	181	кг/ГОД
35. Маса ГПС в циліндрі двигуна $m_{ГВС} = m_B + m_{CH_4} + m_{H_2P} + m_{COP} + m_{CO_2P} + m_{N_2P}$	$m_{ГВС} =$	0,01590	кг

36. Масова витрата ГПС через змішувальну камеру $M_{ГПС} = m_{ГВС} \cdot 30 \cdot n \cdot i$ $M_{ГПС} = 1431$ кг/ГОД

37. Максимальна температура робочого циклу, приймається по довідковій літературі $t_{max} = 2200$ °C

38. Масові теплоємкості газів при постійному тиску та температурі t_{max} :

повітря $c_{пов.} = 0,9201 + 0,000106 \cdot t_{max}$ $c_{возд.} = 1,153$ кДж/кг·град

азоту $c_{N_2} = 1,0239 + 0,000089 \cdot t_{max}$ $c_{N_2} = 1,220$ кДж/кг·град

оксиду вуглецю $c_{CO} = 1,0302 + 0,00009 \cdot t_{max}$ $c_{CO} = 1,228$ кДж/кг·град

вуглекислого газу $c_{CO_2} = 0,8724 + 0,00024 \cdot t_{max}$ $c_{CO_2} = 1,400$ кДж/кг·град

водню H_2 $c_{H_2} = 14,1922 + 0,00125 \cdot t_{max}$ $c_{H_2} = 16,942$ кДж/кг·град

метану CH_4 $c_{CH_4} = 1,3136 + 0,000169 \cdot t_{max}$ $c_{CH_4} = 1,685$ кДж/кг·град

39. Максимальна температура газів в циліндрі двигуна

$$t_{max} = (T_{ГВС} - 273) + \frac{Q_{ц}}{m_{возд} \cdot c_{возд} + m_{CO_2} \cdot c_{CO_2} + m_{N_2} \cdot c_{N_2} + m_{CO} \cdot c_{CO} + m_{H_2} \cdot c_{H_2}}$$

$t_{max} = 2243$ °C

$$T_{max} = 2516 \text{ К}$$

40. Тиск ГПС в кінці такту стиску

$$p_c = p_{ГВС} \cdot \epsilon^{n_1}$$

$p_c = 2380965$ Па

$$p_c = 24 \text{ бар}$$

41. Температура ГПС в кінці такта стиску

$$T_c = T_{ГВС} \cdot \epsilon^{n_1 - 1}$$

$T_c = 740$ К

$$t_c = 467 \text{ °C}$$

42. Теоретичний максимальний тиск згоряння

$$p_{maxт} = p_c \cdot T_{max} / T_c$$

$p_{maxт} = 83$ бар

43. Дійсний максимальний тиск згоряння

$$p_{maxд} = 0,85 \cdot p_{maxт}$$

$p_{maxд} = 70$ бар

3. Визначення параметрів продуктів згоряння газоповітряної суміші

1. Об'ємний вміст азоту N₂ в продуктах згоряння

$$\begin{aligned} \text{ГПС (за цикл)} \quad v_{N_2} &= 0,79 \cdot v_{\text{Ц}} \cdot \varphi_{\text{ВГ}} + 0,79 \cdot v_{\text{В}} & v_{N_2} &= 0,0111 & \text{м}^3 \\ & & v_{N_2} &= 63,8 & \% \end{aligned}$$

2. Об'ємний вміст вуглекислого газу CO₂ в

$$\begin{aligned} \text{продуктах згоряння ГПС (за цикл)} \quad v_{\text{CO}_2} &= v_{\text{CO}_2\text{P}} + v_{\text{CH}_4} \cdot \alpha_{\text{CH}_4} + v_{\text{CO}_2\text{P}} & v_{\text{CO}_2} &= 0,00138 & \text{м}^3 \\ & & v_{\text{CO}_2} &= 7,9 & \% \end{aligned}$$

3. Об'ємний вміст водяної пари в продуктах згоряння ГПС (за цикл)

$$\begin{aligned} v_{\text{H}_2\text{O}} &= v_{\text{H}_2\text{P}} + 2 \cdot \alpha_{\text{CH}_4} \cdot v_{\text{CH}_4} & v_{\text{H}_2\text{O}} &= 0,0025 & \text{м}^3 \\ & & v_{\text{H}_2\text{O}} &= 14,4 & \% \end{aligned}$$

4. Об'ємний вміст CO и H₂ в продуктах згоряння

$$\begin{aligned} \text{ГПС (за цикл)} \quad v_{\text{CO}+\text{H}_2} &= 0,42 \cdot (1 - \alpha_{\text{CH}_4}) \cdot L_{\text{CH}_4} \cdot v_{\text{CH}_4} & v_{\text{CO}+\text{H}_2} &= 0,0024 & \text{м}^3 \\ & & v_{\text{CO}+\text{H}_2} &= 13,9 & \% \end{aligned}$$

5. Об'ємний вміст CO в продуктах згоряння ГПС (за цикл)

$$\begin{aligned} v_{\text{CO}} &= v_{\text{H}_2+\text{CO}} / (1 + \alpha_{\text{H}_2} / \alpha_{\text{CO}}) & v_{\text{CO}} &= 0,0009 & \text{м}^3 \\ & & v_{\text{CO}} &= 5,3 & \% \end{aligned}$$

6. Об'ємний вміст водню H₂ в продуктах згоряння ГПС (за цикл)

$$\begin{aligned} v_{\text{H}_2} &= v_{\text{H}_2+\text{CO}} - v_{\text{CO}} & v_{\text{H}_2} &= 0,0015 & \text{м}^3 \\ & & v_{\text{H}_2} &= 8,6 & \% \end{aligned}$$

7. Сумарний об'єм продуктів згоряння ГПС (за цикл)

$$v_{\text{ГПС}} = v_{N_2} + v_{\text{CO}_2} + v_{\text{H}_2\text{O}} + v_{\text{CO}} + v_{\text{H}_2} \quad v_{\text{ГПС}} = 0,0175 \quad \text{м}^3$$

8. Об'ємна витрата азоту N₂ у випускних газах

$$V_{N_2} = v_{N_2} \cdot 30 \cdot n \cdot i \quad V_{N_2} = 1003 \quad \text{м}^3/\text{ГОД}$$

9. Об'ємна витрата СО у випускних газах $V_{CO} = v_{CO} \cdot 30 \cdot n \cdot i$	$V_{CO} =$	84	м ³ /ГОД
10. Об'ємна витрата СО ₂ у випускних газах $V_{CO2} = v_{CO2} \cdot 30 \cdot n \cdot i$	$V_{CO2} =$	124	м ³ /ГОД
11. Об'ємна витрата водяної пари Н ₂ О у випускних газах $V_{H2O} = v_{H2O} \cdot 30 \cdot n \cdot i$	$V_{H2O} =$	226	м ³ /ГОД
12. Об'ємна витрата водню Н ₂ у випускних газах $V_{H2} = v_{H2} \cdot 30 \cdot n \cdot i$	$V_{H2} =$	135	м ³ /ГОД
13. Фактичний об'єм СО, що виробляється в ХРС $V_{COФ} = V_{CO} - V_{COP} \cdot 30 \cdot n \cdot i$	$V_{COФ} =$	70	м ³ /ГОД
14. Фактичний об'єм Н ₂ , що виробляється в ХРС $V_{H2Ф} = V_{H2} - v_{H2P} \cdot 30 \cdot n \cdot i$	$V_{H2Ф} =$	113	м ³ /ГОД
15. Теплова потужність синтез-газу $P_{CG} = (V_{COФ} \cdot Q_{CO} + V_{H2Ф} \cdot Q_{H2}) / 3600$	$P_{CG} =$	554	кВт
16. Теплова потужність початкового метану метану $P_{CH4} = V_{CH4} \cdot Q_{CH4} / 3600$	$P_{CH4} =$	1473	кВт
17. Масова витрата N ₂ у випускних газах	$m_{N2} =$	1072	кг/ГОД
18. Масова витрата СО у випускних газах $m_{CO} = V_{CO} \cdot \rho_{CO}$	$m_{CO} =$	87	кг/ГОД
19. Масова витрата СО ₂ у випускних газах $m_{CO2} = V_{CO2} \cdot \rho_{CO2}$	$m_{CO2} =$	202	кг/ГОД
20. Масова витрата водяної пари Н ₂ О у випускних газах $m_{H2O} = V_{H2O} \cdot \rho_{H2O}$	$m_{H2O} =$	7	кг/ГОД
21. Масова витрата водню Н ₂ у випускних газах $m_{H2} = V_{H2} \cdot \rho_{H2}$	$m_{H2} =$	10	кг/ГОД

4. Визначення ефективної потужності газового двигуна при роботі в режимі виробництва синтез-газу

1. Кількість тепла, що виділяється в циліндрах двигуна за 1 годину його роботи

$$Q_{Тч} = Q_{Ц} \cdot 30 \cdot n \cdot i$$

$$Q_{Т} = 3843326 \text{ кДж/год}$$

$$Q_{Т} = 1067,59 \text{ кВт}$$

2. Ефективний ККД газового двигуна без наддуву

$$\eta_{\epsilon} = 0,28$$

3. Ефективна потужність газового двигуна

$$P_{\epsilon} = Q_{Тч} \cdot \eta_{\epsilon} / 3600$$

$$P_{\epsilon} = 299 \text{ кВт}$$

4. КПД електрогенератора

$$\eta_{Г} = 0,93$$

5. Номінальна потужність двигун-генератора

$$P_{дг} = P_{\epsilon} \cdot \eta_{Г}$$

$$P_{дг} = 278 \text{ кВт}$$

3.6.3 Розрахунок параметрів робочого циклу хімічного реактору стиску (ХРС)
при коефіцієнті надлишку повітря $\alpha = 0,8$

1. Вихідні дані для розрахунку

1. Діаметр циліндру	$D =$	0,25	м
2. Хід поршня	$S =$	0,34	м
3. Число циліндрів	$i =$	6	
4. Число оборотів двигуна	$n =$	500	об/хв
5. Ступінь стиску	$\varepsilon =$	10,5	
6. Показник політропи стиску	$n_1 =$	1,37	
7. Температура газо-повітряної суміші (ГПС) в циліндрі двигуна	$T_{ГПС} =$	310	К
8. Тиск ГПС в циліндрі двигуна	$p_{ГПС} =$	95000	Па
9. Коефіцієнт наповнення циліндру газо-повітряною сумішю і випускними газами	$\eta_H =$	0,95	
10. Кількість повітря, теоретично необхідного для повного згоряння палива:			
- метану CH_4	$L_{CH_4} =$	9,52	$м^3/м^3$
- водню H_2	$L_{H_2} =$	2,38	$м^3/м^3$
- оксиду вуглецю CO	$L_{CO} =$	2,38	$м^3/м^3$
11. Температура самозаймання:			
- метану CH_4	$t_{CH_4} =$	590-690	$^{\circ}C$
- водню H_2	$t_{H_2} =$	550-600	$^{\circ}C$
- оксиду вуглецю CO	$t_{CO} =$	625-675	$^{\circ}C$
12. Нижча теплота згоряння			
- метану CH_4	$Q_{CH_4} =$	33852	$кДж/м^3$
- водню H_2	$Q_{H_2} =$	10226	$кДж/м^3$
- оксиду вуглецю CO	$Q_{CO} =$	12035	$кДж/м^3$
13. Універсальна газова постійна			
- метану CH_4	$R_{CH_4} =$	520	$Дж/кг \cdot град$
- водню H_2	$R_{H_2} =$	4157	$Дж/кг \cdot град$
- оксиду вуглецю CO	$R_{CO} =$	297	$Дж/кг \cdot град$

- повітря	$R_{\text{BO}_3} =$	287	Дж/кг·град
- азоту N_2	$R_{\text{N}_2} =$	297	Дж/кг·град
- вуглекислого газу CO_2	$R_{\text{CO}_2} =$	189	Дж/кг·град

14. Максимальна величина нормальної швидкості поширення полум'я:

- метану CH_4	$v_{\text{CH}_4} =$	0,35	м/с
- водню H_2	$v_{\text{H}_2} =$	3,2	м/с
- оксиду вуглецю CO	$v_{\text{CO}} =$	0,42	м/с

15. Коефіцієнт надлишку повітря, що відповідає нижній концентраційній границі

- метану CH_4	$\alpha_{\text{CH}_4} =$	2
- водню H_2	$\alpha_{\text{H}_2} =$	10
- оксиду вуглецю CO	$\alpha_{\text{CO}} =$	2,95

15. Коефіцієнт надлишку повітря, що відповідає верхній концентраційній границі

- метану CH_4	$\alpha_{\text{CH}_4} =$	0,65
- водню H_2	$\alpha_{\text{H}_2} =$	0,15
- оксиду вуглецю CO	$\alpha_{\text{CO}} =$	0,15

17. Коефіцієнт надлишку повітря для згоряння:

- метану CH_4	$\alpha_{\text{CH}_4} =$	0,8
- водню H_2	$\alpha_{\text{H}_2} =$	1
- оксиду вуглецю CO	$\alpha_{\text{CO}} =$	1

18. Об'ємний вміст рециркуляційних випускних газів в газоповітряній суміші

$$\phi_{\text{ВГ}} = 0,15$$

19. Об'ємний склад синтез-газу, що подається в циліндри двигуна з випускними газами при їх рециркуляції (по результатам випробування газового двигуна 6ГЧН36/45)

- водень H_2	$a_{\text{H}_2} =$	0,5
- оксид вуглецю CO	$a_{\text{CO}} =$	0,31
- вуглекислий газ CO_2	$a_{\text{CO}_2} =$	0,19

2. Розрахунок параметрів газоповітряної суміші

1.Обєм газоповітряної суміші в циліндрі
безнаддувного газового двигуна

$$V_{Ц} = 0,0158 \quad \text{м}^3$$

$$V_{Ц} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot S \cdot \eta_H$$

2.Вміст рециркуляційного водню H_2 в циліндрі
двигуна

$$V_{H_2P} = 0,21 \cdot V_{Ц} \cdot \phi_{BG} \cdot a_{H_2}$$

$$V_{H_2P} = 0,00025 \quad \text{м}^3$$

$$V_{H_2P} = 1,6 \quad \%$$

3.Вміст рециркуляційного оксиду вуглецю CO
в циліндрі двигуна

$$V_{CO P} = 0,21 \cdot V_{Ц} \cdot \phi_{BG} \cdot a_{CO}$$

$$V_{CO P} = 0,00015 \quad \text{м}^3$$

$$V_{CO P} = 1,0 \quad \%$$

3.Вміст рециркуляційного азоту N_2 в циліндрі
двигуна

$$V_{N_2 P} = 0,79 \cdot V_{Ц} \cdot \phi_{BG}$$

$$V_{N_2 P} = 0,00188 \quad \text{м}^3$$

$$V_{N_2 P} = 11,9 \quad \%$$

4.Вміст рециркуляційного вуглекислого газу
 CO_2 в циліндрі двигуна

$$V_{CO_2 P} = 0,21 \cdot V_{Ц} \cdot \phi_{BG} \cdot a_{CO_2}$$

$$V_{CO_2 P} = 0,00009 \quad \text{м}^3$$

$$V_{CO_2 P} = 0,60 \quad \%$$

5. Кількість повітря, необхідного для
спалювання рециркуляційних водню H_2 та
оксиду вуглецю CO в циліндрі двигуна

$$V_{B(H_2+CO)} = \alpha_{H_2} \cdot V_{H_2} \cdot L_{H_2} + \alpha_{CO} \cdot V_{CO} \cdot L_{CO}$$

$$V_{B(H_2+CO)} = 0,00096 \quad \text{м}^3$$

6.Обємний вміст природного газу (метану) в
циліндрі двигуна

$$V_{CH_4} = \frac{V_{Ц} \cdot (1 - \phi_{BG}) - V_{B(H_2+CO)}}{\alpha_{CH_4} \cdot L_{CH_4} + 1}$$

$$V_{CH_4} = 0,0015 \quad \text{м}^3$$

7.Объемний вміст повітря для згоряння метану в
циліндрі двигуна

$$V_{\text{BCH4}} = L_0 \cdot \alpha_{\text{CH4}} \cdot V_{\text{CH}}$$

$$V_{\text{BCH4}} = 0,01106 \quad \text{м}^3$$

8. Сумарний об'ємний вміст повітря в
циліндрі двигуна $V_{\text{ВЦ}} = V_{\text{BCH4}} + V_{\text{B(H2+CO)}}$

$$V_{\text{ВЦ}} = 0,01202 \quad \text{м}^3$$

$$V_{\text{ВЦ}} = 75,8 \quad \%$$

9. Сумарний об'єм компонентів ГПС в циліндрі
двигуна

$$V_{\text{ЦГВС}} = V_{\text{ВЦ}} + V_{\text{COP}} + V_{\text{CO2P}} + V_{\text{CH4}} + V_{\text{H2P}} + V_{\text{N2P}} = V_{\text{Ц}}$$

$$V_{\text{ЦГВС}} = 0,01585 \quad \text{м}^3$$

10.Процентний вміст метану в газоповітряній
суміші циліндру двигуна

$$\delta_{\text{CH4}} = \frac{V_{\text{CH4}}}{V_{\text{Ц}}} \cdot 100\%$$

$$\delta_{\text{CH4}} = 9,2 \quad \%$$

11. Об'ємна витрата повітря через змішувальну
камеру $V_{\text{В}} = V_{\text{ВЦ}} \cdot 30 \cdot n \cdot i$

$$V_{\text{В}} = 1082 \quad \text{м}^3/\text{ГОД}$$

12. Об'ємна витрата природного газу в
змішувальну камеру $V_{\text{Г}} = V_{\text{CH4}} \cdot 30 \cdot n \cdot i$

$$V_{\text{Г}} = 131 \quad \text{м}^3/\text{ГОД}$$

13. Теплова потужність природного газу
 $P_{\text{Г}} = V_{\text{Г}} \cdot Q_{\text{CH4}}/3600$

$$P_{\text{Г}} = 1229 \quad \text{кВт}$$

14. Об'ємна витрата охолоджених
рециркуляційних випускних газів в
змішувальну камеру

$$V_{\text{ВГ}} = V_{\text{Ц}} \cdot \phi_{\text{ВГ}} \cdot 30 \cdot n \cdot i$$

$$V_{\text{ВГ}} = 214 \quad \text{м}^3/\text{ГОД}$$

15. Об'ємна витрата ГПС через змішувальну
камеру $V_{\text{ГВС}} = V_{\text{Ц}} \cdot 30 \cdot n \cdot i = V_{\text{В}} + V_{\text{Г}} + V_{\text{ВГ}}$

$$V_{\text{ГВС}} = 1426 \quad \text{м}^3/\text{ГОД}$$

16. Теоретична кількість теплоти, яка
виділяється при згорянні частини метану та
синтез-газу в циліндрі двигуна за один
робочий цикл

$$Q_{\text{Ц}} = 43,7 \quad \text{кДж}$$

$$Q_{\text{Ц}} = \alpha_{\text{CH4}} \cdot V_{\text{CH4}} \cdot Q_{\text{CH4}} + V_{\text{COP}} \cdot Q_{\text{CO}} + V_{\text{H2P}} \cdot Q_{\text{H2}}$$

17. Густина повітря в циліндрі двигуна $\rho_B = P_{ГВС} / (R_B \cdot T_{ГВС})$	$\rho_B =$	1,07	кг/м ³
18. Густина метану CH ₄ в циліндрі $\rho_{CH_4} = P_{ГВС} / (R_{CH_4} \cdot T_{ГВС})$	$\rho_{CH_4} =$	0,59	кг/м ³
19. Густина рециркуляційного водню H ₂ в циліндрі $\rho_{H_2} = P_{ГВС} / (R_{H_2} \cdot T_{ГВС})$	$\rho_{H_2} =$	0,07	кг/м ³
20. Густина рециркуляційного оксиду вуглецю CO в циліндрі $\rho_{CO} = P_{ГВС} / (R_{CO} \cdot T_{ГВС})$	$\rho_{CO} =$	1,03	кг/м ³
21. Густина рециркуляційного азоту N ₂ в циліндрі $\rho_{N_2} = P_{ГВС} / (R_{N_2} \cdot T_{ГВС})$	$\rho_{N_2} =$	1,07	кг/м ³
22. Густина рециркуляційного вуглекислого газу CO ₂ в циліндрі $\rho_{CO_2} = P_{ГВС} / (R_{CO_2} \cdot T_{ГВС})$	$\rho_{CO_2} =$	1,62	кг/м ³
23. Густина водяної пари H ₂ O	$\rho_{H_2O} =$	0,03	кг/м ³
24. Маса повітря в циліндрі двигуна $m_B = \rho_B \cdot V_{ВЦ}$	$m_B =$	0,013	кг
24. Масова витрата повітря в змішувальну камеру двигуна $M_B = m_B \cdot 30 \cdot n \cdot i$	$M_B =$	1156	кг/год
25. Маса метану CH ₄ в циліндрі двигуна $m_{CH_4} = \rho_{CH_4} \cdot V_{ГЦ}$	$m_{CH_4} =$	0,00086	кг
26. Масова витрата метану CH ₄ в змішувальну камеру $M_{CH_4} = m_{CH_4} \cdot 30 \cdot n \cdot i$	$M_{CH_4} =$	77	кг/год
27. Маса рециркуляційного водню H ₂ в циліндрі двигуна $m_{H_2P} = \rho_{H_2} \cdot V_{H_2P}$	$m_{H_2P} =$	0,00002	кг
28. Масова витрата рециркуляційного водню H ₂ в змішувальну камеру $M_{H_2P} = m_{H_2P} \cdot 30 \cdot n \cdot i$	$M_{H_2P} =$	1,7	кг/год

29. Маса рециркуляційного оксиду вуглецю CO в циліндрі двигуна $m_{\text{COP}} = \rho_{\text{CO}} \cdot V_{\text{COP}}$	$m_{\text{COP}} = 0,00016$	кг
30. Масова витрата рециркуляційного оксиду вуглецю CO в змішувальну камеру $M_{\text{COP}} = m_{\text{COP}} \cdot 30 \cdot n \cdot i$	$M_{\text{COP}} = 14$	кг/ГОД
31. Маса рециркуляційного вуглекислого газу CO ₂ в циліндрі двигуна $m_{\text{CO2P}} = \rho_{\text{CO2}} \cdot V_{\text{CO2P}}$	$m_{\text{CO2P}} = 0,00015$	кг
32. Масова витрата рециркуляційного вуглекислого газу CO ₂ в змішувальну камеру $M_{\text{CO2P}} = m_{\text{CO2P}} \cdot 30 \cdot n \cdot i$	$M_{\text{CO2P}} = 14$	кг/ГОД
33. Маса рециркуляційного азоту N ₂ в циліндрі двигуна $m_{\text{N2P}} = \rho_{\text{N2}} \cdot V_{\text{N2P}}$	$m_{\text{N2P}} = 0,0020$	кг
34. Масова витрата рециркуляційного азоту N ₂ в змішувальну камеру $M_{\text{N2P}} = m_{\text{N2P}} \cdot 30 \cdot n \cdot i$	$M_{\text{N2P}} = 181$	кг/ГОД
35. Маса ГПС в циліндрі двигуна $m_{\text{ГВС}} = m_{\text{B}} + m_{\text{CH4}} + m_{\text{H2P}} + m_{\text{COP}} + m_{\text{CO2P}} + m_{\text{N2P}}$	$m_{\text{ГВС}} = 0,01604$	кг
36. Масова витрата ГПС через змішувальну камеру $M_{\text{ГВС}} = m_{\text{ГВС}} \cdot 30 \cdot n \cdot i$	$M_{\text{ГПС}} = 1444$	кг/ГОД
37. Максимальна температура робочого циклу, приймається по довдковій літературі	$t_{\text{max}} = 2270$	°C
38. Масові теплоємкості газів при постійному тиску та температурі t_{max} :		
повітря $c_{\text{пов.}} = 0,9201 + 0,000106 \cdot t_{\text{max}}$	$c_{\text{возд.}} = 1,161$	кДж/кг·град
азоту $c_{\text{N2.}} = 1,0239 + 0,000089 \cdot t_{\text{max}}$	$c_{\text{N2.}} = 1,226$	кДж/кг·град
оксиду вуглецю $c_{\text{CO.}} = 1,0302 + 0,00009 \cdot t_{\text{max}}$	$c_{\text{CO}} = 1,235$	кДж/кг·град
вуглекислого газу $c_{\text{CO2}} = 0,8724 + 0,00024 \cdot t_{\text{max}}$	$c_{\text{CO2}} = 1,417$	кДж/кг·град
водню H ₂ $c_{\text{H2}} = 14,1922 + 0,00125 \cdot t_{\text{max}}$	$c_{\text{H2}} = 17,030$	кДж/кг·град

$$\text{метану } \text{CH}_4 \quad c_{\text{CH}_4} = 1,3136 + 0,000169 \cdot t_{\text{max}} \quad c_{\text{CH}_4} = 1,697 \text{ кДж/кг} \cdot \text{град}$$

39. Максимальна температура газів в циліндрі двигуна

$$t_{\text{max}} = (T_{\text{ГВС}} - 273) + \frac{Q_{\text{ц}}}{m_{\text{BOЗД}} \cdot c_{\text{BOЗД}} + m_{\text{CJ}} \cdot c_{\text{CO}} + m_{\text{N}_2} \cdot c_{\text{N}_2} + m_{\text{CJ}} \cdot c_{\text{CO}} + m_{\text{H}_2} \cdot c_{\text{H}_2}} \quad t_{\text{max}} = 2273 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{max}} = 2546 \text{ К}$$

40. Тиск ГПС в кінці такту стиску

$$p_c = p_{\text{ГВС}} \cdot \epsilon^{n_1} \quad p_c = 2380965 \text{ Па}$$

$$p_c = 24 \text{ бар}$$

41. Температура ГПС в кінці такта стиску

$$T_c = T_{\text{ГВС}} \cdot \epsilon^{n_1-1} \quad T_c = 740 \text{ К}$$

$$t_c = 467 \text{ } ^\circ\text{C}$$

42. Теоретичний максимальний тиск згоряння

$$p_{\text{maxт}} = p_c \cdot T_{\text{max}} / T_c \quad p_{\text{maxт}} = 84 \text{ бар}$$

43. Дійсний максимальний тиск згоряння

$$p_{\text{maxд}} = 0,85 \cdot p_{\text{maxт}} \quad p_{\text{maxд}} = 71 \text{ бар}$$

3. Визначення параметрів продуктів згоряння газоповітряної суміші

1. Об'ємний вміст азоту N_2 в продуктах згоряння

$$\text{ГПС (за цикл)} \quad v_{\text{N}_2} = 0,79 \cdot v_{\text{ц}} \cdot \varphi_{\text{ВГ}} + 0,79 \cdot v_{\text{В}} \quad v_{\text{N}_2} = 0,0114 \text{ м}^3$$

$$v_{\text{N}_2} = 68,9 \text{ \%}$$

2. Об'ємний вміст вуглекислого газу CO_2 в

$$\text{продуктах згоряння ГПС (за цикл)} \quad v_{\text{CO}_2} = v_{\text{COР}} + v_{\text{CH}_4} \cdot \alpha_{\text{CH}_4} + v_{\text{CO}_2\text{Р}} \quad v_{\text{CO}_2} = 0,00141 \text{ м}^3$$

$$v_{\text{CO}_2} = 8,5 \text{ \%}$$

3. Об'ємний вміст водяної пари в продуктах

$$\text{згоряння ГПС (за цикл)} \quad v_{\text{H}_2\text{O}} = v_{\text{H}_2\text{Р}} + 2 \cdot \alpha_{\text{CH}_4} \cdot v_{\text{CH}_4} \quad v_{\text{H}_2\text{O}} = 0,0026 \text{ м}^3$$

$$v_{\text{H}_2\text{O}} = 15,6 \text{ \%}$$

4.Объемный вміст СО и Н₂ в продуктах згоряння

ГПС (за цикл)

$$v_{CO+H_2} = 0.42 \cdot (1 - \alpha_{CH_4}) \cdot L_{CH_4} \cdot v_{CH_4}$$

$$v_{CO+H_2} = 0,0012 \quad m^3$$

$$v_{CO+H_2} = 7,0 \quad \%$$

5.Объемный вміст СО в продуктах згоряння ГПС

(за цикл) $v_{CO} = v_{H_2+CO} / (1 + a_{H_2}/a_{CO})$

$$v_{CO} = 0,0004 \quad m^3$$

$$v_{CO} = 2,7 \quad \%$$

6.Объемный вміст водню Н₂ в продуктах

згоряння ГПС (за цикл) $v_{H_2} = v_{H_2+CO} - v_{CO}$

$$v_{H_2} = 0,0007 \quad m^3$$

$$v_{H_2} = 4,3 \quad \%$$

7. Сумарний обем продуктів згоряння ГПС (за цикл)

$$v_{ПС} = v_{N_2} + v_{CO_2} + v_{H_2O} + v_{CO} + v_{H_2}$$

$$v_{ПС} = 0,0165 \quad m^3$$

8. Объемна витрата азоту N₂ у випускних газах

$$V_{N_2} = v_{N_2} \cdot 30 \cdot n \cdot i$$

$$V_{N_2} = 1024 \quad m^3/\text{ГОД}$$

9. Объемна витрата СО у випускних газах

$$V_{CO} = v_{CO} \cdot 30 \cdot n \cdot i$$

$$V_{CO} = 40 \quad m^3/\text{ГОД}$$

10. Объемна витрата СО₂ у випускних газах

$$V_{CO_2} = v_{CO_2} \cdot 30 \cdot n \cdot i$$

$$V_{CO_2} = 127 \quad m^3/\text{ГОД}$$

11. Объемна витрата водяної пари Н₂О у

випускних газах

$$V_{H_2O} = v_{H_2O} \cdot 30 \cdot n \cdot i$$

$$V_{H_2O} = 232 \quad m^3/\text{ГОД}$$

12. Объемна витрата водню Н₂ у випускних

газах

$$V_{H_2} = v_{H_2} \cdot 30 \cdot n \cdot i$$

$$V_{H_2} = 64 \quad m^3/\text{ГОД}$$

13. Фактичний обем СО, що виробляється в

ХРС $V_{COФ} = V_{CO} - V_{COР} \cdot 30 \cdot n \cdot i$

$$V_{COФ} = 26 \quad m^3/\text{ГОД}$$

14. Фактичний об'єм H_2 , що виробляється в ХРС

$$V_{H_2\Phi} = V_{H_2} - v_{H_2P} \cdot 30 \cdot n \cdot i$$

$$V_{H_2\Phi} = 42 \quad \text{м}^3/\text{ГОД}$$

15. Теплова потужність синтез-газу

$$P_{CG} = (V_{CO\Phi} \cdot Q_{CO} + V_{H_2\Phi} \cdot Q_{H_2}) / 3600$$

$$P_{CG} = 207 \quad \text{кВт}$$

16. Теплова потужність початкового метану
метану

$$P_{CH_4} = V_{CH_4} \cdot Q_{CH_4} / 3600$$

$$P_{CH_4} = 1229 \quad \text{кВт}$$

17. Масова витрата N_2 у випускних газах

$$m_{N_2} = 1094 \quad \text{кг/ГОД}$$

18. Масова витрата CO у випускних газах

$$m_{CO} = V_{CO} \cdot \rho_{CO}$$

$$m_{CO} = 41 \quad \text{кг/ГОД}$$

19. Масова витрата CO_2 у випускних газах

$$m_{CO_2} = V_{CO_2} \cdot \rho_{CO_2}$$

$$m_{CO_2} = 206 \quad \text{кг/ГОД}$$

20. Масова витрата водяні пари H_2O у
випускних газах

$$m_{H_2O} = V_{H_2O} \cdot \rho_{H_2O}$$

$$m_{H_2O} = 7 \quad \text{кг/ГОД}$$

21. Масова витрата водню H_2 у випускних
газах

$$m_{H_2} = V_{H_2} \cdot \rho_{H_2}$$

$$m_{H_2} = 5 \quad \text{кг/ГОД}$$

4. Визначення ефективної потужності газового двигуна при роботі в режимі
виробництва синтез-газу

1. Кількість тепла, що виділяється в циліндрах
двигуна за 1 годину його роботи

$$Q_{TЧ} = Q_{Ц} \cdot 30 \cdot n \cdot i$$

$$Q_T = 3935623 \quad \text{кДж/ГОД}$$

$$Q_T = 1093,23 \quad \text{кВт}$$

2. Ефективний ККД газового двигуна без
наддуву

$$\eta_e = 0,28$$

3. Ефективна потужність газового двигуна

$$P_e = Q_{TЧ} \cdot \eta_e / 3600$$

$$P_e = 306 \quad \text{кВт}$$

4. КПД електрогенератора

$$\eta_{Г} = 0,93$$

5. Номинальна потужність двигун-генератора

$$P_{\text{дг}} = P_{\epsilon} \cdot \eta_{\Gamma}$$

$$P_{\text{дг}} = 285 \text{ кВт}$$

3.7 Обґрунтування можливості застосування збагаченого киснем повітря для покращення параметрів роботи газового двигуна в складі ХРС

Збагачення киснем повітря на впуску в двигун збільшує швидкість згоряння і дає можливість подавати більше палива в порівнянні із стехіометричним складом паливно-повітряної суміші, забезпечуючи підвищення питомої потужності і паливної економічності. На додаток до цього зменшуються втрати потужності при роботі двигуна внутрішнього згоряння на великих висотах. Більш повне згоряння зменшує викиди токсичних речовин із випускними газами. Збільшення вмісту кисню у повітрі зменшує тривалість періоду затримки запалювання і створює потенціальну можливість роботи на низькосортних паливах. Разом з тим, збагачення повітря киснем підвищує температуру згоряння, що збільшує викиди NO_x . В роботі The University of Michigan, Ann Arbor, MI 48109 представлені результати дослідження характеристик тепловозного дизеля, що працював на повітрі загаченим киснем. Дослідження проведено із використанням термодинамічної моделі. Моделювання передбачало проходження повітря через полімерну плівку МБ, яка має властивість пропускати молекули кисню і затримувати молекули азоту. Повітря, що пройшло через МБ збагачується киснем до вмісту 35% по об'єму. Результати дослідження показали, що при роботі на загаченій суміші ефективна потужність може підвищитися на величину до 90%, а ефективна витрата палива зменшуватися на 15%. Зменшенням кута випередження впорскування палива можливо знизити максимальний тиск згоряння в циліндрі на 22% без ущербу для потужності і витрати палива. При цьому викиди NO_x збільшувались в 4 рази. Деяке зменшення досягається при зменшенні кута випередження впорскування, але для обмеження викидів до рівня, що допускається стандартами, необхідно застосування нейтралізаторів.

					ПННІ НУК 131.61.23.13 ПЗ	Лист
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

3.8 Розрахунок параметрів робочого процесу ХРС при роботі на газу і збагаченому повітрі

Задачею цього розрахунку робочого процесу ХРС є визначення його основних параметрів - максимальної температури процесу, максимального тиску згоряння, складу газоповітряної суміші на вході в двигун і складу продуктів згоряння (синтез-газу) на виході із двигуна при роботі на повітрі збагаченого киснем (до O_2 -25%). Також визначаються очікувана ефективна потужність двигуна, об'ємні витрати газоповітряної суміші і випускного синтез-газу

1. Вихідні дані для розрахунку

1. Діаметр циліндру	$D =$	0,25	м
2. Хід поршня	$S =$	0,34	м
3. Число циліндрів	$i =$	6	
4. Число оборотів двигуна	$n =$	500	об/хв.
5. Ступінь стиску	$\varepsilon =$	10,5	
6. Показник політропи стиску	$n_1 =$	1,37	
7. Температура газо-повітряної (ГПС) в циліндрі двигуна	$T_{ГПС} =$	310	К
8. Тиск ГПС в циліндрі двигуна	$p_{ГПС} =$	95000	Па
9. Коефіцієнт наповнення циліндра газо-повітряною сумішшю (ГПС) і вихлопними газами	$\eta_H =$	0,95	
10. Вміст кисню в повітрі	$a_{O_2} =$	0,25	
11. Вміст азоту в повітрі	$a_{N_2} =$	0,75	
12. Кількість збагаченого киснем O_2 повітря, теоретично необхідного для повного згоряння:			
- метану CH_4	$L_{CH_4} =$	8,00	$м^3/м^3$
- водню H_2	$L_{H_2} =$	2,00	$м^3/м^3$
- оксиду вуглецю CO	$L_{CO} =$	2,00	$м^3/м^3$
13. Температура самозапалювання:			
- метану CH_4	$t_{CH_4} =$	590-690	$^{\circ}C$
- водню H_2	$t_{H_2} =$	550-600	$^{\circ}C$
- оксида вуглецю CO	$t_{CO} =$	625-675	$^{\circ}C$
14. Нижча теплота згоряння			
- метану CH_4	$Q_{CH_4} =$	33852	$кДж/м^3$
- водню H_2	$Q_{H_2} =$	10226	$кДж/м^3$
- оксида вуглецю CO	$Q_{CO} =$	12035	$кДж/м^3$
15. Універсальна газова постійна			
- метану CH_4	$R_{CH_4} =$	520	$Дж/кг \cdot град$

- водню H ₂	R _{H2} =	4157	Дж/кг·град
- оксида вуглецю CO	R _{CO} =	297	Дж/кг·град
- повітря	R _{BO3} =	287	Дж/кг·град
- азоту N ₂	R _{N2} =	297	Дж/кг·град
- вуглекислого газу CO ₂	R _{CO2} =	189	Дж/кг·град

16. Максимальне значення нормальної швидкості поширення полум'я:

- метану CH ₄	v _{CH4} =	0,35	м/с
- водню H ₂	v _{H2} =	3,2	м/с
- оксиду вуглецю CO	v _{CO} =	0,42	м/с

17. Коефіцієнт надлишку повітря, що відповідає нижньому концентраційній границі

- метану CH ₄	α _{CH4} =	2
- водню H ₂	α _{H2} =	10
- оксиду вуглецю CO	α _{CO} =	2,95

18. Коефіцієнт надлишку повітря, що відповідає верхньому концентраційній границі

- метану CH ₄	α _{CH4} =	0,65
- водню H ₂	α _{H2} =	0,15
- оксиду вуглецю CO	α _{CO} =	0,15

19. Коефіцієнт надлишку повітря для згоряння:

- метану CH ₄	α _{CH4} =	0,50
- водню H ₂	α _{H2} =	1
- оксиду вуглецю CO	α _{CO} =	1

20. Об'ємний вміст рециркуляційних випускних газів у газоповітряній суміші

$$\varphi_{BG} = 0,15$$

21. Об'ємний склад синтез-газу, що подається в циліндр двигуна з випускними газами при їх рециркуляції (по результатам випробування газового двигуна 6ГЧН36/45)

- водень H ₂	a _{H2} =	0,5
- оксид вуглецю CO	a _{CO} =	0,31
- вуглекислий газ CO ₂	a _{CO2} =	0,19

2. Розрахунок параметрів газоповітряної суміші (ГПС)

1. Об'єм газоповітряної суміші в циліндрі безнаддувного газового двигуна

$$V_{ц} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot S \cdot \eta_H$$

$$V_{ц} = 0,01585 \quad \text{м}^3$$

2.Вміст рециркуляційного водню H_2 в циліндрі двигуна	$V_{H2P} = 0,25 \cdot V_{Ц} \cdot \varphi_{БГ} \cdot a_{H2}$	$V_{H2P} = 0,00030$	m^3
		$V_{H2P} = 1,9$	%
3.Вміст рециркуляційного оксиду вуглецю CO в циліндрі двигателя	$V_{COP} = 0,25 \cdot V_{Ц} \cdot \varphi_{БГ} \cdot a_{CO}$	$V_{COP} = 0,00018$	m^3
		$V_{COP} = 1,2$	%
4.Вміст рециркуляційного азота N_2 в циліндрі двигателя	$V_{N2P} = 0,75 \cdot V_{Ц} \cdot \varphi_{БГ}$	$V_{N2P} = 0,00178$	m^3
		$V_{N2P} = 11,3$	%
5.Вміст рециркуляційного углекислого газу CO_2 в циліндрі двигуна	$V_{CO2P} = 0,25 \cdot V_{Ц} \cdot \varphi_{БГ} \cdot a_{CO2}$	$V_{CO2P} = 0,00011$	m^3
		$V_{CO2P} = 0,71$	%
6. Кількість повітря, необхідного для спалювання рециркуляційного водню H_2 і оксиду вуглецю CO в циліндрі двигуна	$V_{B(H2+CO)} = \alpha_{H2} \cdot V_{H2} \cdot L_{H2} + \alpha_{CO} \cdot V_{CO} \cdot L_{CO}$	$V_{B(H2+CO)} = 0,00096$	m^3
7.Об'ємний вміст природного газу (метана) в циліндрі двигуна	$V_{CH4} = \frac{V_{Ц} \cdot (1 - \varphi_{БГ}) - V_{B(H2+CO)}}{\alpha_{CH4} \cdot L_{CH4} + 1}$	$V_{CH4} = 0,0025$	m^3
8.Об'ємний вміст повітря для згоряння метану в циліндрі двигуна	$V_{BCH4} = L_{CH4} \cdot \alpha_{CH4} \cdot V_{CH}$	$V_{BCH4} = 0,01001$	m^3
9. Загальний об'ємний вміст повітря в циліндрі двигуна $V_{ВЦ} = V_{BCH4} + V_{B(H2+CO)}$		$V_{ВЦ} = 0,01097$	m^3
		$V_{ВЦ} = 69,2$	%
10. Загальний об'єм компонентів ГПС в циліндрі двигуна	$V_{ЦГПС} = V_{ВЦ} + V_{COP} + V_{CO2P} + V_{CH4} + V_{H2P} + V_{N2P} = V_{Ц}$	$V_{ЦГПС} = 0,01585$	m^3

11. Процентний вміст метану в газоповітряній суміші в циліндрі двигуна

$$\delta_{CH_4} = \frac{V_{CH_4}}{V_{\Pi}} \cdot 100\%$$

$$\delta_{CH_4} = 15,8 \quad \%$$

12. Об'ємна витрата повітря через змішувальну камеру $V_B = V_{B\Gamma} \cdot 30 \cdot n \cdot i$

$$V_B = 987 \quad \text{м}^3/\text{год}$$

13. Об'ємна витрата природного газу в змішувальну камеру $V_{\Gamma} = V_{CH_4} \cdot 30 \cdot n \cdot i$

$$V_{\Gamma} = 225 \quad \text{м}^3/\text{год}$$

14. Теплова потужність природного газу $P_{\Gamma} = V_{\Gamma} \cdot Q_{CH_4} / 3600$

$$P_{\Gamma} = 2118 \quad \text{кВт}$$

15. Об'ємна витрата охолоджених рециркуляційних випускних газів у змішувальну камеру $V_{B\Gamma} = V_{\Pi} \cdot \phi_{B\Gamma} \cdot 30 \cdot n \cdot i$

$$V_{B\Gamma} = 214 \quad \text{м}^3/\text{год}$$

16. Об'ємна витрата ГПС через змішувальну камеру $V_{ГПС} = V_{\Pi} \cdot 30 \cdot n \cdot i = V_B + V_{\Gamma} + V_{B\Gamma}$

$$V_{ГПС} = 1426 \quad \text{м}^3/\text{год}$$

17. Теоретична кількість теплоти, яка виделяється при згорянні частини метану і синтез-газу в циліндрі двигуна за один робочий цикл

$$Q_{\Pi} = 47,6 \quad \text{кДж}$$

$$Q_{\Pi} = \alpha_{CH_4} \cdot V_{CH_4} \cdot Q_{CH_4} + V_{CO} \cdot Q_{CO} + V_{H_2} \cdot Q_{H_2}$$

18. Густина повітря в циліндрі

$$\rho_{\Pi} = P_{ГВС} / (R_B \cdot T_{ГВС})$$

$$\rho_{\Pi} = 1,07 \quad \text{кг/м}^3$$

19. Густина метану CH_4 в циліндрі

$$\rho_{CH_4} = P_{ГВС} / (R_{CH_4} \cdot T_{ГВС})$$

$$\rho_{CH_4} = 0,59 \quad \text{кг/м}^3$$

20. Густина рециркуляційного водню H_2 в циліндрі

$$\rho_{H_2} = P_{ГВС} / (R_{H_2} \cdot T_{ГВС})$$

$$\rho_{H_2} = 0,07 \quad \text{кг/м}^3$$

21. Густина рециркуляційного оксиду вуглецю CO в циліндрі $\rho_{CO} = P_{ГВС} / (R_{CO} \cdot T_{ГВС})$

$$\rho_{CO} = 1,03 \quad \text{кг/м}^3$$

22. Густина рециркуляційного азоту N_2 в циліндрі

$$\rho_{N_2} = P_{ГВС} / (R_{N_2} \cdot T_{ГВС})$$

$$\rho_{N_2} = 1,07 \quad \text{кг/м}^3$$

23. Густина рециркуляційного вуглекислого газу CO_2 в циліндрі

$$\rho_{CO_2} = P_{ГВС} / (R_{CO_2} \cdot T_{ГВС})$$

$$\rho_{CO_2} = 1,62 \quad \text{кг/м}^3$$

24. Густина водяної пари H_2O

$$\rho_{H_2O} = 0,03 \quad \text{кг/м}^3$$

25. Маса повітря в циліндрі двигуна

$$m_{\Pi} = \rho_B \cdot V_{B\Gamma}$$

$$m_{\Pi} = 0,012 \quad \text{кг}$$

26. Масова витрата повітря в змішувальну камеру двигуна	$M_{\Pi} = m_{\Pi} \cdot 30 \cdot n \cdot i$	$M_{\Pi} =$	1055	кг/год
27. Маса метану CH_4 в циліндрі двигуна	$m_{\text{CH}_4} = \rho_{\text{CH}_4} \cdot V_{\text{ГЦ}}$	$m_{\text{CH}_4} =$	0,00148	кг
28. Масова витрата метану CH_4 в змішувальну камеру	$M_{\text{CH}_4} = m_{\text{CH}_4} \cdot 30 \cdot n \cdot i$	$M_{\text{CH}_4} =$	133	кг/год
29. Маса рециркуляційного водню H_2 в циліндру двигуна	$m_{\text{H}_2\text{P}} = \rho_{\text{H}_2} \cdot V_{\text{H}_2\text{P}}$	$m_{\text{H}_2\text{P}} =$	0,00002	кг
30. Масова витрата рециркуляційного водню H_2 в змішувальну камеру	$M_{\text{H}_2\text{P}} = m_{\text{H}_2\text{P}} \cdot 30 \cdot n \cdot i$	$M_{\text{H}_2\text{P}} =$	2,0	кг/год
31. Маса рециркуляційного оксиду вуглецю CO в циліндрі двигуна	$m_{\text{COP}} = \rho_{\text{CO}} \cdot V_{\text{COP}}$	$m_{\text{COP}} =$	0,00019	кг
32. Масова витрата рециркуляційного оксиду вуглецю CO в змішувальну камеру	$M_{\text{COP}} = m_{\text{COP}} \cdot 30 \cdot n \cdot i$	$M_{\text{COP}} =$	17	кг/ч
33. Маса рециркуляційного діоксида вуглецю CO_2 в циліндрі двигуна	$m_{\text{CO}_2\text{P}} =$	$m_{\text{CO}_2\text{P}} =$	0,00018	кг
34. Масова витрата рециркуляційного діоксида вуглецю CO_2 в змішувальну камеру	$M_{\text{CO}_2\text{P}} = m_{\text{CO}_2\text{P}} \cdot 30 \cdot n \cdot i$	$M_{\text{CO}_2\text{P}} =$	16	кг/год
35. Маса рециркуляційного азоту N_2 в циліндрі двигуна	$m_{\text{N}_2\text{P}} = \rho_{\text{N}_2} \cdot V_{\text{N}_2\text{P}}$	$m_{\text{N}_2\text{P}} =$	0,0019	кг
36. Масова витрата рециркуляційного азоту N_2 в змішувальну камеру	$M_{\text{N}_2\text{P}} = m_{\text{N}_2\text{P}} \cdot 30 \cdot n \cdot i$	$M_{\text{N}_2\text{P}} =$	172	кг/год
37. Маса ГПС в циліндрі двигуна	$m_{\text{ГПС}} = m_{\Pi} + m_{\text{CH}_4} + m_{\text{H}_2\text{P}} + m_{\text{COP}} + m_{\text{CO}_2\text{P}} + m_{\text{N}_2\text{P}}$	$m_{\text{ГПС}} =$	0,01550	кг
38. Масова витрата ГПС через змішувальну камеру	$M_{\text{ГПС}} = m_{\text{ГПС}} \cdot 30 \cdot n \cdot i$	$M_{\text{ГПС}} =$	<u>1395</u>	кг/год
39. Максимальна температура робочого циклу, приймається		$t_{\text{max}} =$	2300	°C
40. Масові теплоємності газів при постійному тиску і температурі t_{max} :				
повітря $c_{\text{пов.}}$	$c_{\text{пов.}} = 0,9201 + 0,000106 \cdot t_{\text{max}}$	$c_{\text{пов.}} =$	1,164	кДж/кг·град
азоту c_{N_2}	$c_{\text{N}_2} = 1,0239 + 0,000089 \cdot t_{\text{max}}$	$c_{\text{N}_2} =$	1,229	кДж/кг·град

оксиду вуглецю $c_{CO} = 1,0302 + 0,00009 \cdot t_{\max}$	$c_{CO} =$	1,237	кДж/кг·град
вуглекислого газу $c_{CO_2} = 0,8724 + 0,00024 \cdot t_{\max}$	$c_{CO_2} =$	1,424	кДж/кг·град
водню H_2 $c_{H_2} = 14,1922 + 0,00125 \cdot t_{\max}$	$c_{H_2} =$	17,067	кДж/кг·град
метану CH_4 $c_{CH_4} = 1,3136 + 0,000169 \cdot t_{\max}$	$c_{CH_4} =$	1,702	кДж/кг·град

41. Максимальна температура газів в циліндрі двигуна

$$t_{\max} = (T_{ГВС} - 273) + \frac{Q_{ц}}{m_{BO_3D} \cdot c_{BO_3D} + m_{CO_2} \cdot c_{CO_2} + m_{N_2} \cdot c_{N_2} + m_{CO} \cdot c_{CO} + m_{H_2} \cdot c_{H_2}}$$

$$t_{\max} = 2495 \quad ^\circ\text{C}$$

$$T_{\max} = 2768 \quad \text{K}$$

42. Тиск ГПС в кінці такту стиску

$$p_c = p_{ГВС} \cdot \varepsilon^{n_1}$$

$$p_c = 2380965 \quad \text{Па}$$

$$p_c = 24 \quad \text{бар}$$

43. Температура ГПС в кінці такту стиску

$$T_c = T_{ГВС} \cdot \varepsilon^{n_1-1}$$

$$T_c = 740 \quad \text{K}$$

$$t_c = 467 \quad ^\circ\text{C}$$

44. Теоретично максимальний тиск згоряння

$$p_{\max T} = p_c \cdot T_{\max} / T_c$$

$$p_{\max T} = 91 \quad \text{бар}$$

45. Дійсний максимальний тиск згоряння

$$p_{\max d} = 0,85 \cdot p_{\max T}$$

$$p_{\max d} = 77 \quad \text{бар}$$

3. Визначення параметрів продуктів згоряння газоповітряної суміші

1. Об'ємний вміст азоту N_2 в продуктах згорання

$$\text{ГПС (за цикл)} \quad v_{N_2} = 0,75 \cdot v_{ц} \cdot \varphi_{BG} + 0,75 \cdot v_B$$

$$v_{N_2} = 0,0100 \quad \text{м}^3$$

$$v_{N_2} = 51,7 \quad \%$$

2. Об'ємний вміст вуглекислого газу CO_2 в

продуктах згоряння ГПС (за цикл)

$$v_{CO_2} = v_{CO_2P} + v_{CH_4} \cdot \alpha_{CH_4} + v_{CO_2P}$$

$$v_{CO_2} = 0,00155 \quad \text{м}^3$$

$$v_{CO_2} = 8,0 \quad \%$$

3. Об'ємний вміст водяної пари в продуктах

згоряння ГПС (за цикл)

$$v_{H_2O} = v_{H_2O} + 2 \cdot \alpha_{CH_4} \cdot v_{CH_4}$$

$$v_{H_2O} = 0,0028 \quad \text{м}^3$$

$$v_{H_2O} = 14,5 \quad \%$$

4. Об'ємний вміст CO и H₂ в продуктах згоряння

ГПС (за цикл)

$$v_{CO+H_2} = 0.5 \cdot (1 - \alpha_{CH_4}) \cdot L_{CH_4} \cdot v_{CH_4}$$

$$v_{CO+H_2} = 0,0050 \quad m^3$$

$$v_{CO+H_2} = 25,8 \quad \%$$

5. Об'ємний вміст CO в продуктах згоряння ГПС (за цикл) $v_{CO} = v_{H_2+CO} / (1 + a_{H_2}/a_{CO})$

$$v_{CO} = 0,0019 \quad m^3$$

$$v_{CO} = 9,9 \quad \%$$

6. Об'ємний вміст H₂ в продуктах згоряння ГПС (за цикл) $v_{H_2} = v_{H_2+CO} - v_{CO}$

$$v_{H_2} = 0,0031 \quad m^3$$

$$v_{H_2} = 16,0 \quad \%$$

7. Загальний об'єм продуктів згоряння ГПС (за цикл) $v_{ПС} = v_{N_2} + v_{CO_2} + v_{H_2O} + v_{CO} + v_{H_2}$

$$v_{ПС} = 0,0194 \quad m^3$$

8. Об'ємна витрата азоту N₂ у випускних газах

$$V_{N_2} = v_{N_2} \cdot 30 \cdot n \cdot i$$

$$V_{N_2} = 901 \quad m^3/\text{год}$$

9. Об'ємна витрата CO у випускних газах

$$V_{CO} = v_{CO} \cdot 30 \cdot n \cdot i$$

$$V_{CO} = 172 \quad m^3/\text{год}$$

10. Об'ємна витрата CO₂ у випускних газах

$$V_{CO_2} = v_{CO_2} \cdot 30 \cdot n \cdot i$$

$$V_{CO_2} = 139 \quad m^3/\text{год}$$

11. Об'ємна витрата водяної пари H₂O у випускних газах $V_{H_2O} = v_{H_2O} \cdot 30 \cdot n \cdot i$

$$V_{H_2O} = 252 \quad m^3/\text{год}$$

12. Об'ємна витрата водню H₂ у випускних газах

$$V_{H_2} = v_{H_2} \cdot 30 \cdot n \cdot i$$

$$V_{H_2} = 278 \quad m^3/\text{год}$$

13. Фактичний об'єм CO, що виробляється в ХРС

$$V_{CO\Phi} = V_{CO} - V_{CO\Phi} \cdot 30 \cdot n \cdot i$$

$$V_{CO\Phi} = 156 \quad m^3/\text{год}$$

14. Фактичний об'єм H₂, що виробляється в ХРС

$$V_{H_2\Phi} = V_{H_2} - v_{H_2\Phi} \cdot 30 \cdot n \cdot i$$

$$V_{H_2\Phi} = 251 \quad m^3/\text{год}$$

4. Визначення ефективної потужності газового двигуна при роботі в режимі вироблення синтез-газу

1. Кількість тепла, що виділяється в циліндрах

двигуна за 1 годину його роботи

$$Q_{ТГ} = Q_{Ц} \cdot 30 \cdot n \cdot i$$

$$Q_{ТГ} = 4284973 \quad \text{кДж/Г}$$

2. Ефективний ККД газового двигуна

$$\eta_e = 0,28$$

3. Ефективна потужність газового двигуна

$$P_e = Q_{ТГ} \cdot \eta_e / 3600$$

$$P_e = 333 \quad \text{кВт}$$

4. ККД електрогенератора

$$\eta_{\Gamma} = 0,93$$

5. Номінальна потужність двигуна-генератора

$$P_{\text{дг}} = P_{\text{е}} \cdot \eta_{\Gamma}$$

$$P_{\text{дг}} = 310 \text{ кВт}$$

Висновки

Із результатів розрахунків робочого циклу ХРС на базі газового двигуна 6ГЧ25/34, який при роботі використовує природне повітря (N_2 -79% и O_2 -21%) або повітря збагачене киснем (N_2 -75% и O_2 -25%), слідує:

1. Збагачення повітря киснем позитивно впливає на параметри робочого процесу ХРС. При вмісті кисню в повітрі $\text{O}_2 = 25\%$ і незмінній витраті газоповітряної суміші на двигун значно зростає об'єм метану, що подається в двигун, і об'єм виробленого в ХРС синтез-газу ($\text{H}_2 + \text{CO}$). Причому, при збагаченому киснем повітрі питомий вихід синтез-газу ($\text{H}_2 + \text{CO}$) з одиниці об'єму метану більше на 23%. Числові параметри робочого процесу ХРС показані на порівняльних розрахункових діаграмах.

2. Можливість роботи ХРС на базі газового двигуна 6ГЧ25/34 із збагаченим киснем повітрям обмежується максимальною температурою робочого циклу, яка визначає працездатність таких деталей двигуна, як поршень, кришка циліндру, клапана газові, втулка циліндру. Тому вміст кисню у збагаченому повітрі, що подається в двигун, більше 25% є проблематичним. По літературним даним для дизелів можливо використання збагаченого повітря із вмістом O_2 до 35%, але з одночасною реалізацією заходів по зменшенню максимальних температур тисків робочого циклу.

3. Крім збагачення повітря киснем, збільшити продуктивність ХРС на базі газового двигуна 6ГЧ25/34 по синтез-газу можливо шляхом форсування його по оборотам (с 500 об/хв до 750 об/хв) і застосуванням турбонаддува.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

4.1 Заходи з охорони праці при обслуговуванні двигуна

В період монтажу, експлуатації, технічного обслуговування двигунів-генераторів необхідно дотримуватися вимог техніки безпеки, охорони праці та пожежної безпеки і. крім того, необхідно виконувати та дотримуватися наступного:

1. Машинне відділення повинно мати медичинську аптечку для надання першої допомоги при опіках, травмах та отруєнні газом, а також вогнегасники. Їх зміст та готовність до використання повинні регулярно перевірятися.

2. За допомогою приборів (газоаналізаторів) систематично визначати загазованість машинної зали. Концентрація метану у повітрі 5 - 15% - вибухонебезпечна.

3. При ремонті газових двигунів у всіх місцях, пов'язаних з управлінням подачею газу та стиснутого повітря для пуску двигуна, а також на пульті дистанційного управління вивісити попереджувальні таблички, що вказують на те, що пуск двигуна забороняється. Після закінчення робіт на двигуні та його площадках не дозволяється залишати деталі, інструмент та пристосування. Пролиті масло та вода повинні бути негайно прибрані.

4. Паливна система непрацюючого двигун-генератора має бути перекритою від подачі газу і з'єднана з атмосферою через «свічку».

5. Перед пуском двигуна перевіряти на герметичність місця з'єднання газових трубопроводів та газової апаратури мильним розчином. Категорично забороняється перевіряти герметичність з'єднань відкритим вогнем.

6. Перед пуском двигуна провертання колінчастого валу вручну виконувати з відкритими декомпресійними кранами та виключеною системою запалювання не менше двох обертів, після чого зняти ричав та закрити декомпресійні крани.

7. Кожен день перевіряти розрідження в картері і у випадку відхилення від допустимих величин виявляти та усувати неполадки.

					ПННІ НУК 131.61.23.13 ПЗ	Лист
						63
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

8. Люки картера при необхідності рекомендується відкривати не менше через 15 хвилин після зупинки двигуна – генератора.

9. Машинне приміщення має бути забезпечено природною або штучною вентиляцією. Вентиляційні канали не можна перекривати.

10. При виявленні неполадки необхідно зупинити працюючий двигун – генератор і усунути неполадки.

11. Перед шафами управління повинні бути покладені гумові килими, на яких обслуговуючий персонал має знаходитися при проведенні робіт по шафам.

12. При роботі в картері двигуна використовувати переносні електричні лампи напругою 6-36 В., які мають бути захищені металевою сіткою.

13. В машинному відділенні забороняється палити та користуватися відкритим вогнем.

14. В машинному відділенні допускається зберігання тільки таких горючих матеріалів, які необхідні при експлуатації двигуна - генератора.

15. Двигун – генератор та основні його частини: електрогенератор, дроти, кабелі та розподільчі пристрої (шафи) – регулярно (кожен тиждень), а двигун кожен день, очищати від горюче –змащувальних матеріалів, пилу.

16. В темну пору доби при ремонті повинно бути забезпечено хороше освітлення машинного відділення, а також аварійне освітлення, що забезпечує нагляд за показанням приладів під час відключення освітлювальної мережі.

17. При експлуатації двигуна в машинному приміщенні рекомендується носити притулену одіж.

					ПННІ НУК 131.61.23.13 ПЗ	Лист
						64
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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) та неповного згоряння (оксид вуглецю CO , неспалені вуглеводні C_nH_m , в тому числі поліциклічні ароматичні, сажа або тверді частинки);

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

в) речовини, викиди яких пов'язані, головним чином, із вмістом у паливі сірки, сполук свинцю, золи (що містить різні важкі метали).

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, враження 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 % ($10\text{-}15 \text{ млн}^{-1}$) протягом 8 годин спричиняє у окремих

					ПННІ НУК 131.61.23.13 ПЗ	Лист
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

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.

З великої кількості вуглеводнів, які містяться у відпрацьованих газах, найбільшої шкоди завдають ароматичні вуглеводні олефінового ряду, тобто ненасичені вуглеводні етилового ряду, що мають високу активність і є вихідними продуктами для утворення фотохімічного смогу. Вплив вуглеводнів на організм людини різноманітний: від виникнення неприємних відчуттів до появи різних захворювань. Характерною особливістю дії вуглеводнів на організм людини є їх вплив на центральну нервову систему. Великі концентрації вуглеводнів можуть призвести до наркотичного сп'яніння, що неприйнятно, особливо під час керування автомобілем. Окрім того, вуглеводні спричиняють виникнення серцево-судинних захворювань, аритмію серця, порушують діяльність шлунково-кишкового тракту, викликають зміни у складі крові.

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

					ПННІ НУК 131.61.23.13 ПЗ	Лист
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

Формальдегід (мурашковий 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.

Відпрацьовані гази ДВЗ є основним джерелом викиду в атмосферу твердих частинок і в першу чергу сажі (кіптяви).

Частинки сажі розміром 0,5-2 мкм затримуються в легенях, викликаючи алергію.

Основна небезпека сажі полягає у тому, що на своїй поверхні вона адсорбує велику кількість вуглеводневих сполук, зокрема поліциклічних ароматичних вуглеводнів, і серед них найбільш активний і небезпечний – бенз(а)пірен. Саме за допомогою сажі ці сполуки надходять в організм людини через дихальні шляхи.

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 легені, 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).

					ПННІ НУК 131.61.23.13 ПЗ	Лист
						67
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

Кваліфікаційна магістерська робота на тему " Теоретичні дослідження роботи 4-тактного газового двигуна потужністю 300 кВт при коефіцієнту надлишку повітря 0,5...0,8 з отриманням синтез-газу» містить в собі необхідні конструкторські креслення, розрахункові і пояснювальні матеріали по газовому двигуну 6ГЧ25/34, який використаний в якості хімічного реактора стиску (ХРС). Кваліфікаційна робота оформлена у вигляді пояснювальної записки та графічної конструкторської частини загальною кількістю 7 листів формату А1.

Конструкція газового двигуна 6ГЧ 25/34 і двигуна – генератора на його базі показана на листах Додатках 1,2 графічної частини роботи.

Основне місце в магістерській роботі зайняли розрахункові дослідження робочого процесу газового двигуна 6ГЧ25/4 при коефіцієнті надлишку повітря $\alpha < 1$. В пояснювальній записці приведені розрахунки робочого процесу газового двигуна при роботі на природному газу і природному та збагаченому повітрі при $\alpha = 0,50, 065, 080$. Результати розрахунків показали, що збільшити виробництво синтез – газу можливо за рахунок збагачення повітря киснем.

В графічній частині роботи розроблені складальне креслення теплообмінника синтез-газу, а також діаграми, що наглядно ілюструють результати розрахунків робочих процесів ХРС при роботі двигуна з різними коефіцієнтами надлишку повітря.

Враховуючи те, що запроєктований газовий двигун 6ГЧ25/34 є джерелом шуму і вібрації, значну частину дипломного проекту відведено для розробки заходів по зменшенню негативного впливу його роботи на обслуговуючий персонал і на навколишнє середовище.

					ПННІ НУК 131.61.23.13 ПЗ	Лист
						68
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ

1. 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.
2. 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.
3. С.М. Доценко, В.И. Иодловский, А.И. Грабовенко Повышения надежности и моторесурса когенерационной установки с газовым двигателем 6 ГЧН 25/34. «Транспорт, экология, устойчивое развитие» // Варна. Болгария. Международный журнал № 1 2017, - С. 17-24.
4. 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 ППІ, 2010.
5. І.О. Григурко, М.Ф. Брендуля, С.М. Доценко Технологія обробки типових деталей (курсове проектування) «Новий світ – 2000», Львів, 2006. – 576с.
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 131.61.23.13 ПЗ	Лист
						69
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		