

**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: Підвищення експлуатаційних показників стаціонарного газового двигуна потужністю 620 кВт з розробкою системи подачі газоподібного палива (біогазу).

Виконав:

студент групи 61-ТЕМмаг-22

\_\_\_\_\_ ***Демченко О. О.***

(підпис)

Керівник роботи:

Викладач кафедри ЕМ

(посада, науковий ступень, вчене звання)

\_\_\_\_\_ ***Дубовець А. І.***

(підпис)

м. Первомайськ, 2023 рік

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

**Факультет - Інженерно-економічний**

Кафедра «Енергетичне машинобудування»

Спеціальність 131 – «Прикладна механіка»

Освітня програма «Технології енергетичного машинобудування»

**«ЗАТВЕРДЖУЮ»**

Гарант освітньої програми

(підпис)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 р.

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

Студенту Демченко Олександр Олександрович

Тема: «Підвищення експлуатаційних показників стаціонарного газового двигуна потужністю 620 кВт з розробкою системи подачі газоподібного палива (біогазу)»

Керівник роботи Дубовець А. І.

Затверджено розпорядженням ПННІ НУК від 11.09.2023 року за № 49.

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

3. Вихідні данні по роботі: Двигун-прототип 6ГЧН25/34 потужністю 540 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 6ГЧН25/34 (Поперечний розріз), СК, А1. 2. Схема регулювання газоповітряної суміші, ПС. 3. Змішувач, СК, А1. 4. Газова шафа, СК, А1 5. Діаграми індикаторна та сил, що діють на КШМ.

## 6. Консультанти роботи

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

7. Дата видачі завдання «11»вересня 2023 року

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

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

Студент \_\_\_\_\_ Демченко О. О.  
(підпис)

Керівник  
роботи \_\_\_\_\_ Дубовець А. І.  
(підпис)

## Анотація

Пояснювальна записка до кваліфікаційної магістерської роботи на тему «Підвищення експлуатаційних показників стаціонарного газового двигуна потужністю 620 кВт з розробкою системи подачі газоподібного палива (біогазу)» містить в собі необхідні конструкторські креслення, розрахункові і пояснювальні матеріали по газовому двигуну 6ГЧН 25/34. Кваліфікаційна робота оформлена у вигляді пояснювальної записки та графічної конструкторської частини проекту загальною кількістю 5 листів формату А1.

В пояснювальній записці приведений опис конструкції двигуна-прототипу 6ГЧН25/34 та об'єкту на якому він встановлюється, розрахований робочий процес з визначенням його основних параметрів, приведене обґрунтування розробленої конструкції системи подачі біогазу. Також розроблені заходи з охорони праці і захисту навколишнього середовища. На завершення зроблені загальні висновки по кваліфікаційній роботі.

Додатки до пояснювальної записки містять креслення двигуна 6ГЧН25/34, складальне і робоче креслення колінчастого валу, специфікації двигуна та колінчастого валу.

**Ключові слова:** система, біогаз, паливна система, робочий процес, охорона праці, захист навколишнього середовища.

## Abstract

The explanatory note to the qualifying master's thesis on the topic "Increasing the performance of a stationary gas engine with a power of 620 kW with the development of a gaseous fuel (biogas) supply system" contains all the necessary design drawings, calculations and explanatory materials for gas engine 6HChN 25/34. The qualification work is designed in the form of an explanatory note and a graphic design part of the project with a total of 5 letters in A1 format. The explanatory note describes the design of the 6ГЧН25/34 prototype engine and the facility on which it is installed, calculates the work process with determination of its main parameters, and provides the rationale for the developed design of the biogas supply system. Measures for labor protection and environmental protection have also been developed. At the end, general conclusions on the qualification work were made. Appendices to the explanatory note contain a drawing of the 6ГЧН25/34 engine, an assembly and working drawing of the crankshaft, specifications of the engine and crankshaft.

**Key words:** system, biogas, fuel system, work process, labor protection, environmental protection.

## ЗМІСТ

|                                                                              |           |
|------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>ВСТУП.....</b>                                                            | <b>5</b>  |
| <b>1. ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ</b>                                                   |           |
| 1.1 Технічна інформація про об'єкт використання двигуна... ..                | 6         |
| 1.2 Опис конструкції двигуна– прототипу.....                                 | 7         |
| <b>2. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ</b>                                            |           |
| 2.1 Вибір основних параметрів для розрахунку робочого процесу.....           | 13        |
| 2.2 Розрахунок робочого процесу газового двигуна.....                        | 16        |
| 2.3 Розрахунок та побудова теоретичної та дійсної індикаторної діаграми..... | 26        |
| 2.4 Розрахунок теплового балансу .....                                       | 30        |
| 2.5 Динамічний розрахунок двигуна.....                                       | 35        |
| <b>3. НАУКОВИЙ РОЗДІЛ</b>                                                    |           |
| 3.1 Опис системи газопостачання .....                                        | 41        |
| 3.2 Опис системи подачі паливного газу .....                                 | 44        |
| 3.3 Система газообміну .....                                                 | 52        |
| <b>4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА</b>                   |           |
| 4.1 Охорона праці та техніка безпеки при роботі в машинному відділенні.....  | 55        |
| 4.2 Захист навколишнього середовища .....                                    | 60        |
| <b>ВИСНОВКИ.....</b>                                                         | <b>63</b> |
| <b>ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ.....</b>                                               | <b>64</b> |

|           |            |             |        |      |                           |        |      |        |
|-----------|------------|-------------|--------|------|---------------------------|--------|------|--------|
|           |            |             |        |      | ПІННІ НУК 131.61.23.03 ПЗ |        |      |        |
|           |            |             |        |      |                           |        |      |        |
| Зм.       | Арк..      | № документа | Підпис | Дата | Пояснювальна записка      |        |      |        |
| Розробив  | Демченко   |             |        |      |                           |        |      |        |
| Перевірив | Дубовець   |             |        |      |                           |        |      |        |
|           |            |             |        |      |                           |        |      |        |
| Н. контр  | Дубовець   |             |        |      |                           |        |      |        |
| Затвердив | Нестеренко |             |        |      | 61-ТЕМмаг-22              |        |      |        |
|           |            |             |        |      |                           | Літера | Лист | Листів |
|           |            |             |        |      |                           | н      | 3    | 69     |

## ДОДАТКИ

|                  |                                                            |    |
|------------------|------------------------------------------------------------|----|
| <b>ДОДАТОК 1</b> | Газовий двигун 6ГЧН25/34 (Поперечний розріз), СК, А1... .. | 65 |
| <b>ДОДАТОК 2</b> | Схема регулювання газоповітряної суміші, ПС .....          | 66 |
| <b>ДОДАТОК 3</b> | Змішувач, СК, А1.....                                      | 67 |
| <b>ДОДАТОК 4</b> | Газова шафа, СК, А.....                                    | 68 |
| <b>ДОДАТОК 5</b> | Діаграма індикаторна та сил, що діють на КШМ.....          | 69 |

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 131.61.23.03 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                          | 4    |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

## ВСТУП

Застосування паливних газів альтернативного походження в ДВЗ сьогодні обмежено внаслідок їх специфічних особливостей – перемінного складу, наявності домішок та баласту. Використання таких газів як шахтний метан, попутний нафтовий газ, звалищний, біогаз в «чистому» вигляді без попередньої їх обробки, підготовки та очищення, а також без виконання заходів з удосконалення та налаштування системи впуску двигунів не можливе.

Стійкість та надійність роботи двигуна при роботі на вищезазначених паливних газах залежить від багатьох чинників. На першому плані – фізико-хімічні властивості, відсоткове співвідношення паливо/повітря та рівномірність розподілу сумішей, що вони утворюють в замкненому просторі в циліндрі. Так, для газових двигунів правильна організація процесів сумішоутворення буде безпосередньо впливати на характер протікання процесів згоряння та тепловиділення, а, відповідно, визначати ефективність протікання робочого циклу в цілому, що дасть можливість отримати необхідні вихідні параметри.

Актуальність дослідження. Для забезпечення потрібної ефективності перемішування газоповітряної суміші в циліндрі необхідно забезпечити рівномірність концентраційного співвідношення газ/повітря та стабільність середнього коефіцієнту надлишку повітря в циліндрі. Саме вони, в першу чергу, будуть впливати на протікання процесів згоряння та теплообміну.

Тому вирішення проблем сумішоутворення в газових двигунах є на сьогодні одним з пріоритетних завдань.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 131.61.23.03 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                          | 5    |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

## 1. ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

### 1.1 Технічна інформація про об'єкт застосування двигуна.

Для розміщення когенераційної установки із газовим двигуном 6ГЧН25/34 використовуються в першу чергу площі, що вивільняються при реконструкції промислових об'єктів. В данному проекті устаткування когенераційної установки розміщується на вільній площі котельні. Будівля одноповерхова, із складеного залізобетону, каркасна із залізобетонними панелями. В зовнішніх стінах є світові пройоми. До будівлі підведені інженерні комунікації.

#### 1.1.1 Призначення і мета застосування когенераційної установки.

Когенераційна установка на базі газового двигун-генератора ДвГА-600 із газовим двигуном 6ГЧН 25/34 призначена для виробництва електричної енергії на власні потреби котельні, а також для отримання додаткової теплової енергії за рахунок утилізації тепла від охолоджуючої води, масла, наддувочного повітря і вихлопних газів двигуна.

#### 1.1.2 Склад, характеристика устаткування.

В склад когенераційної установки входить слідуюче теплотехнічне устаткування:

-газовий двигун-генератор ДвГА-600, теплообмінник утилізаційний водогрійний (ТУВ), насоси циркуляційні, насоси поповнення, градирня ГМП-20, шафа газова, трубопроводи із запірною арматурою, система стиснутого повітря, система прийому, зберігання і заміни масла.

Основні технічні дані газового двигун-генератора ДвГА-510:

|                                                            |                     |
|------------------------------------------------------------|---------------------|
| - повна потужність на вихідних клеммах генератора, кВт     | 510                 |
| - мінімальна потужність при тривалій роботі, кВт           | 150                 |
| - витрата газу на повній потужності, нм <sup>3</sup> /год  | 144,4               |
| - питома витрата циркуляційного масла на угар, г/(кВт·год) | 1,0                 |
| - тиск газу на вході в редуктор, МПа не більше             | 0,3                 |
| - вид струму -                                             | змінний, 3-х фазний |
| - напруга, В                                               | 400                 |

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 131.61.23.03 ПЗ | Лист |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          | 6    |

- частота, Гц

50

Двигун-генератор автоматизований по 1-й ступені виконанням наступних операцій: ГОСТ 14228-80 із

- автоматичне регулювання частоти обертання;
- автоматичне регулювання температури в системах охолодження і мащення;
- автоматична аварійна сигналізація і захист (зупинка) по тиску масла і води, температурі масла і води;
- управління пуском, зупинкою, передпусковою прокачкою масла і частотою обертання;
- попереджувальна сигналізація про перевантаження двигун-генератора.

## 1.2 Опис конструкції газового двигуна-прототипу 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.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 131.61.23.03 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                          | 7    |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

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.

#### 1.2.1 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  $120^\circ$  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.

Із сторони переднього торця на колінчастому валу встановлені шестерня приводу насоса масла 20 та демпфіруюча шестерня приводу насосів води 4. 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 осевого зміщення шестерня утримується упорним кільцем 25 та болтами в кількості чотирьох штук.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 131.61.23.03 ПЗ | Лист |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          | 8    |

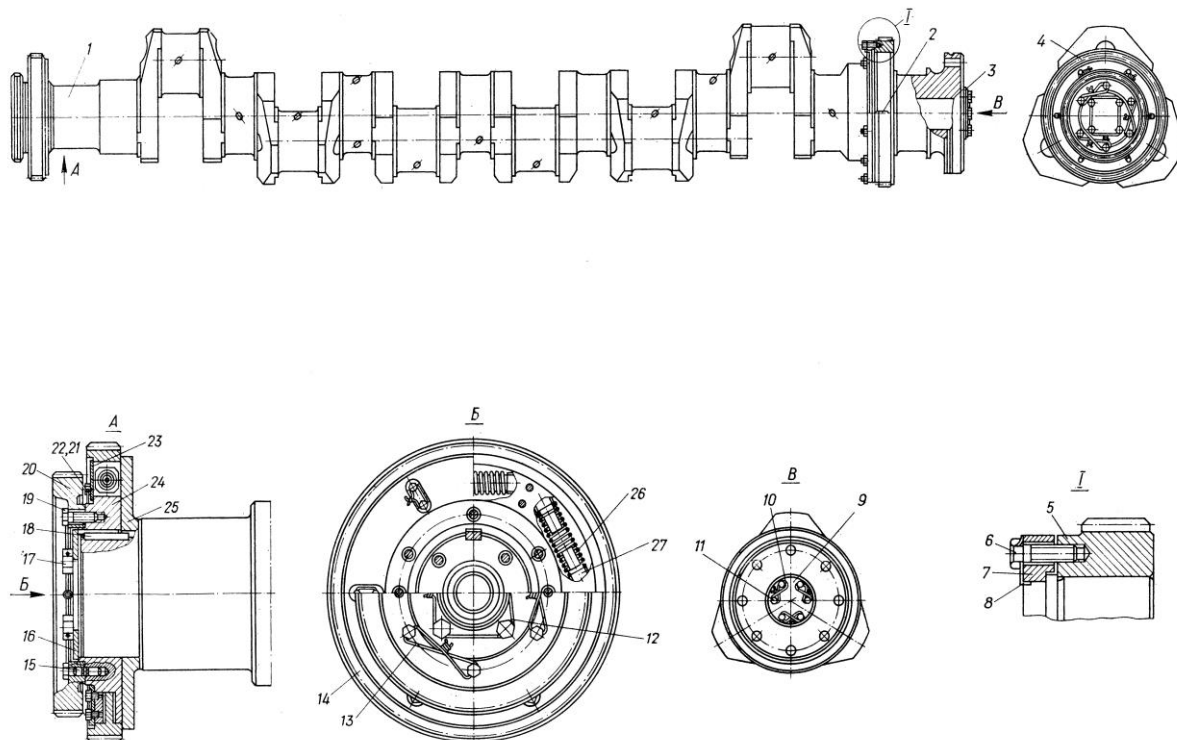
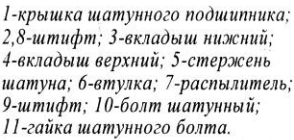


Рисунок 1.2 Вал колінчастий

1 – вал колінчастий; 2 – шпонка; 3 – прокладка; 4 – демпфіруюча 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 Ø10; 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 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.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 131.61.23.03 ПЗ | Лист |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          | 9    |



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

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.

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

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      | .        |        |      | ПННІ НУК 131.61.23.03 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                          | 10   |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

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.

Кришка шатунного підшипника кріпиться до стержня шатуна за допомогою чотирьох шатунних болтів. Взаємне положення стержня і кришки фіксується штифтами 8.

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.

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 маслосборні кільця 16.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 131.61.23.03 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                          | 11   |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

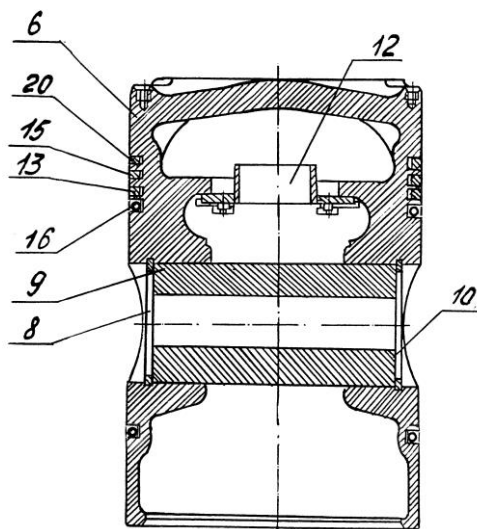


Рисунок 1.4 Поршень

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

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 131.61.23.03 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                          | 12   |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

## 2. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

### 2.1 Вибір основних параметрів для розрахунку робочого процесу двигуна

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

В основі методу аналітичного розрахунку лежить метод Гриневецького-Мазинга.

Проведемо аналіз вихідних параметрів для розрахунку робочого процесу:

а) Тиск і температура навколишнього середовища.

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

б) Ступінь стиску.

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

в) Коефіцієнт надлишку повітря.

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

г) Коефіцієнт продувки камери згоряння.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 131.61.23.03 ПЗ | Лист |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          | 13   |

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

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

є) Коефіцієнти використання теплоти.

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

ж) Ступінь підвищення тиску

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

з) Механічний ККД

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

к) Охолодження наддувочного повітря

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

л) Температура залишкових газів

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 131.61.23.03 ПЗ | Лист |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          | 14   |

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

м) Коефіцієнт закруглення індикаторної діаграми.

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

н) Показник політропи стиску в компресорі.

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

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 131.61.23.03 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                          | 15   |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

## 2.2 Розрахунок робочого процесу газового двигуна.

### 1. Умова завдання:

|                                      |                 |      |                  |
|--------------------------------------|-----------------|------|------------------|
| Ефективна потужність                 | $P_e =$         | 620  | кВт              |
| Частота обертання колінчастого валу. | $n =$           | 750  | $\text{хв}^{-1}$ |
| Діаметр циліндра                     | $d =$           | 250  | мм               |
| Хід поршня                           | $S =$           | 340  | мм               |
| Ступінь стиску                       | $\varepsilon =$ | 8    |                  |
| Коефіцієнт надлишку повітря          | $\alpha =$      | 1,71 |                  |
| Число циліндрів                      | $i =$           | 6    |                  |
| Коефіцієнт тактності                 | $z =$           | 4    |                  |

### 2. Вихідні дані для теплового розрахунку.

|                                                        |              |       |                    |
|--------------------------------------------------------|--------------|-------|--------------------|
| Тиск наддуву                                           | $p_b =$      | 204   | кПа                |
| Тиск навколишнього середовища                          | $p_a =$      | 101,3 | кПа                |
| Температура навколишнього середовища                   | $T_a =$      | 293   | К                  |
| Показник політропи стиску для відцентрового компресора | $n_k =$      | 1,6   |                    |
| Підігрів свіжого заряду                                | $\Delta T =$ | 5     | К                  |
| Тиск залишкових газів                                  | $p_r =$      | 200   | кПа                |
| Температура залишкових газів                           | $T_r =$      | 700   | К                  |
| Ступінь підвищення тиску                               | $\lambda =$  | 2,6   |                    |
| Середнє значення показника політропи:                  |              |       |                    |
| стиску                                                 | $n_1 =$      | 1,32  |                    |
| розширення                                             | $n_2 =$      | 1,27  |                    |
| Коефіцієнт використання теплоти в точці "Z"            | $\xi_z =$    | 0,84  |                    |
| Коефіцієнт повноти індикаторної діаграми               | $\xi =$      | 0,9   |                    |
| Нижча теплота згорання біогазу                         | $Q_H =$      | 21350 | кДж/м <sup>3</sup> |

| Склад:        | в %                         |    | В об'ємних долях                |      |
|---------------|-----------------------------|----|---------------------------------|------|
| метан         | $\text{CH}_4 =$             | 59 | $R_{\text{CH}_4} =$             | 0,59 |
| етан          | $\text{C}_2\text{H}_6 =$    | 0  | $R_{\text{C}_2\text{H}_6} =$    | 0    |
| пропан        | $\text{C}_3\text{H}_8 =$    | 0  | $R_{\text{C}_3\text{H}_8} =$    | 0    |
| бутан         | $\text{C}_4\text{H}_{10} =$ | 0  | $R_{\text{C}_4\text{H}_{10}} =$ | 0    |
| пентан        | $\text{C}_5\text{H}_{12} =$ | 0  | $R_{\text{C}_5\text{H}_{12}} =$ | 0    |
| вуглекислота  | $\text{CO}_2 =$             | 38 | $R_{\text{CO}_2} =$             | 0,38 |
| оксид вуглецю | $\text{CO} =$               | 0  | $R_{\text{CO}} =$               | 0    |
| азот          | $\text{N}_2 =$              | 1  | $R_{\text{N}_2} =$              | 0,01 |

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

### 3. Параметри робочого тіла.

Теоретично необхідна кількість повітря для згоряння 1 кмоль газу.

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

$$L_0 = 5,67 \text{ кмоль/кмоль}$$

Загальна кількість продуктів свіжого заряду.

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

$$M_1 = 10,69 \text{ кмоль/кмоль}$$

Кількість окремих компонентів продуктів згоряння.

$$\begin{aligned} \text{Кількість } CO_2: \quad M_{CO_2} &= CO + \sum (n C_n H_m + CO_2), \text{ кмоль} \\ M_{CO_2} &= 2,49 \text{ кмоль} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Кількість } H_2O: \quad M_{H_2O} &= H_2 + \sum (0.5m C_n H_m), \text{ кмоль} \\ M_{H_2O} &= 1,18 \text{ кмоль} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Кількість } O_2: \quad M_{O_2} &= 0.21 \times (\alpha - 1) \times L_0, \text{ кмоль} \\ M_{O_2} &= 0,8449 \text{ кмоль} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Кількість } N_2: \quad M_{N_2} &= 0.79 \times \alpha \times L_0 + N_2, \text{ кмоль} \\ M_{N_2} &= 7,665 \text{ кмоль} \end{aligned}$$

Загальна кількість продуктів згоряння.

$$M_2 = M_{CO_2} + M_{H_2O} + M_{O_2} + M_{N_2}, \text{ кмоль/кг} \quad 12,180 \text{ кмоль}$$

Змінення об'єму при згорянні 1 кмоль газу.

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

$$\Delta M = 1,49 \text{ кмоль}$$

Теоретичний коефіцієнт молекулярної зміни.

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

$$\beta_0 = 1,1394$$

### 4. Параметри процесу наповнення.

Температура повітря після нагнітача.

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

$$T_B = 381,0 \text{ K}$$

Температура повітря після охолоджувача.

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

$$\text{число з інтервалу} = 30$$

$$\Delta T_{\text{int}} = 351,0 \text{ K}$$

Температура газоповітряної суміші.

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

$$T_{\text{см}} = 322,9 \text{ K}$$

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

Коефіцієнт залишкових газів.

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

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

$$P_d = 193,8 \text{ кПа}$$

$$\gamma_r = 0,069$$

Коефіцієнт наповнення.

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

$$\varphi_n = 0,93$$

Температура газоповітряної суміші на початку стиску.

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

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

## 5. Параметри процесу стиску.

Тиск в кінці стиску.

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

$$P_c = 3016,0 \text{ кПа}$$

Температура в кінці стиску.

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

$$T_c = 684,8 \text{ K}$$

$$t_c = 411,8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

## 6. Параметри процесу згоряння.

Дійсний коефіцієнт молекулярної зміни.

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

$$\beta = 1,1303$$

Максимальна температура циклу знаходиться з рівняння балансу:

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

склад продуктів згорання в об'ємних долях:

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

$$R_{CO_2} = 0,2044$$

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

$$R_{H_2O} = 0,0969$$

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

$$R_{O_2} = 0,0694$$

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

$$R_{N_2} = 0,6293$$

Мольна теплоємність продуктів згорання:

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

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

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

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

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

Після підстановки одержимо рівняння.

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

де:

$$a = 18,93$$

$$b = 511,46$$

теплоємність газового палива.

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

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

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

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

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

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

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

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

Після підстановки одержимо рівняння.

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

де:

$$a = 18,84$$

$$b = 3447,91$$

мольна теплоємність газоповітряної суміші при постійному об'ємі.

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

Після підстановки одержимо рівняння.

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

де:

$$a = 20,15$$

$$b = 512,37$$

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

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

Після підстановки одержимо рівняння.

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

де:

$$a = 20,15$$

$$b = 256,19$$

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

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

Після підстановки одержимо рівняння.

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

де:

$$a = 29,156$$

$$b = 535,193$$

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

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

$$a = 29,156$$

$$b = 267,596$$

Максимальна температура процесу згоряння.

Після підстановки одержимо квадратне рівняння.

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

де:

$$A = 302,475$$

$$B = 32,957$$

$$C = 52583,54$$

Звідки:

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

$$t_z = 1412,4 \text{ C} \quad T_z = 1685,4 \text{ K}$$

Максимальний тиск згоряння.

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

$$p_{\max} = 8390,3 \text{ кПа}$$

Ступінь підвищення тиску

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

$$\lambda = 2,78$$

$$\Delta \lambda = 7,00 \%$$

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

Ступінь попереднього розширення.

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

$$\rho = 1$$

7. Параметри процесу розширення.  
Ступінь подальшого розширення.

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

$$\delta = 8$$

Тиск в кінці розширення.

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

$$p_{\varepsilon} = 598,2 \text{ кПа}$$

Температура в кінці розширення.

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

$$T_{\varepsilon} = 961,3 \text{ К}$$

Середня температура випускних газів.

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

$$T_{\text{ср.г.}} = 767,0 \text{ К}$$

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

Температура залишкових газів.

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

$$T_{\text{г}} = 667,2 \text{ К}$$

$$\text{Перевірка: } \frac{|T_{r^3} - T_r|}{T_{r^3}} \times 100 \% = 4,68 \%$$

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

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

$$P_{mi} = 1127,63 \text{ кПа}$$

Індикаторний ККД.

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

$$\eta_i = 0,37$$

Питома індикаторна витрата газу.

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

$$g_i = 0,45 \text{ м}^3 / (квт \cdot год)$$

9 Ефективні показники робочого циклу.

Середній тиск механічних втрат.

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

Середня швидкість поршня.

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

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

$$V_{п.ср.} = 8,5 \text{ м/с}$$

$$P_M = 131,8 \text{ кПа}$$

Середній ефективний тиск.

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

$$P_{me} = 995,82 \text{ кПа}$$

Механічний К.К.Д.

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

$$\eta_M = 0,88$$

Ефективний К.К.Д.

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

$$\eta_e = 0,331$$

Питома ефективна витрата газу.

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

$$b_e = 0,510 \text{ м}^3/(\text{кВт} \cdot \text{год})$$

Годинна витрата газу.

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

$$B = 315,9 \text{ м}^3/\text{год}$$

10 Основні розміри циліндра і двигуна.

Літраж двигуна.

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

$Z = 4$  - Коефіцієнт тактності.

$$V_{st} = 99,62 \text{ Л}$$

$$V_s = \frac{V_{st}}{i}, \text{ Л}$$

$$V_s = 16,60 \text{ Л}$$

Діаметр циліндра.

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

$$m = \frac{S_{пп}}{d_{пп}}$$

$$d_{пп} = 0,25 \text{ м}$$

$$m = 1,36$$

$$d = 249,6 \text{ мм}$$

Хід поршня.

$$S = m \times d, \text{ мм}$$

$$S = 339,5 \text{ мм}$$

11 Уточнені розміри циліндра двигуна.

Діаметр циліндра.

$$d = 250 \text{ мм}$$

Хід поршня.

$$S = 340 \text{ мм}$$

Літраж двигуна.

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

$$V_{st} = 100,09 \text{ л}$$

Робочий об'єм ходу поршня.

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

$$V_s = 16,68 \text{ л}$$

Ефективна потужність двигуна.

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

$$P_{ep} = 622,9 \text{ кВт}$$

Отримана величина  $P_{ep}$  відрізняється від заданої на:

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

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

$$P_{ep} = 621,5 \text{ кВт}$$

$$\Delta P_e = 0,47 \%$$

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

### 2.3 Розрахунок індикаторної діаграми.

Розрахунок теоретичної індикаторної діаграми.

Вихідні дані

|                   |              |                                  |
|-------------------|--------------|----------------------------------|
| $P_{mi} =$        | 1,128 МПа    | Середній індикаторний тиск.      |
| $P_d =$           | 0,1938 МПа   | Тиск в кінці впуску.             |
| $n_1 =$           | 1,320        | Показник політропи стиску.       |
| $\varepsilon_c =$ | 8,000        | Ступінь стиску.                  |
| $P_{max} =$       | 8,390 МПа    | Максимальний тиск в циліндрі.    |
| $n_2 =$           | 1,270        | Показник політропи розширення.   |
| $\rho =$          | 1,000        | Ступінь попереднього розширення. |
| $m_p =$           | 0,030 МПа/мм | Масштаб по осі тиску.            |
| $\xi =$           | 0,900        |                                  |

Таблиця 2.3

Результати розрахунку.

| $V / V_c$        | $P_{CT}, МПа$ | $P_{CT}, мм$ | $P_{роз}, МПа$ | $P_{роз}, мм$ | $P_{cp}, МПа$ |
|------------------|---------------|--------------|----------------|---------------|---------------|
| 1                | 3,016         | 100,5        | 8,390          | 279,7         | 5,374         |
| 1,25             | 2,247         | 74,9         | 6,320          | 210,7         | 4,073         |
| 1,5              | 1,766         | 58,9         | 5,014          | 167,1         | 3,248         |
| 1,75             | 1,441         | 48,0         | 4,122          | 137,4         | 2,681         |
| 2                | 1,208         | 40,3         | 3,479          | 116,0         | 2,271         |
| 3                | 0,707         | 23,6         | 2,079          | 69,3          | 1,372         |
| 4                | 0,484         | 16,1         | 1,443          | 48,1          | 0,959         |
| 5                | 0,360         | 12,0         | 1,087          | 36,2          | 0,726         |
| 6                | 0,283         | 9,4          | 0,862          | 28,7          | 0,579         |
| 7                | 0,231         | 7,7          | 0,709          | 23,6          | 0,478         |
| 8                | 0,194         | 6,5          | 0,598          | 19,9          | 0,404         |
| $P_{mi}^{\pi} =$ |               |              |                |               | 1,175         |

Об'єм камери згорання

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

$$V_s = [AB] = 190 \text{ мм}$$

$$V_c = 27,143 \text{ мм}$$

Приведений робочий об'єм

Похибка середнього індикаторного тиску.

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

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

$$P_{mi \text{ ср}} = 1,151 \quad \text{МПа}$$

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

Похибка не перевищує 5%

### 2.3 Розрахунок індикаторної діаграми.

Розрахунок теоретичної індикаторної діаграми.

Вихідні дані

|                   |              |                                  |
|-------------------|--------------|----------------------------------|
| $P_{mi} =$        | 1,128 МПа    | Середній індикаторний тиск.      |
| $P_d =$           | 0,1938 МПа   | Тиск в кінці впуску.             |
| $n_1 =$           | 1,320        | Показник політропи стиску.       |
| $\varepsilon_c =$ | 8,000        | Ступінь стиску.                  |
| $P_{max} =$       | 8,390 МПа    | Максимальний тиск в циліндрі.    |
| $n_2 =$           | 1,270        | Показник політропи розширення.   |
| $\rho =$          | 1,000        | Ступінь попереднього розширення. |
| $m_p =$           | 0,030 МПа/мм | Масштаб по осі тиску.            |
| $\xi =$           | 0,900        |                                  |

Таблиця 2.3

Результати розрахунку.

| $V / V_c$        | $P_{CT}, МПа$ | $P_{CT}, мм$ | $P_{роз}, МПа$ | $P_{роз}, мм$ | $P_{cp}, МПа$ |
|------------------|---------------|--------------|----------------|---------------|---------------|
| 1                | 3,016         | 100,5        | 8,390          | 279,7         | 5,374         |
| 1,25             | 2,247         | 74,9         | 6,320          | 210,7         | 4,073         |
| 1,5              | 1,766         | 58,9         | 5,014          | 167,1         | 3,248         |
| 1,75             | 1,441         | 48,0         | 4,122          | 137,4         | 2,681         |
| 2                | 1,208         | 40,3         | 3,479          | 116,0         | 2,271         |
| 3                | 0,707         | 23,6         | 2,079          | 69,3          | 1,372         |
| 4                | 0,484         | 16,1         | 1,443          | 48,1          | 0,959         |
| 5                | 0,360         | 12,0         | 1,087          | 36,2          | 0,726         |
| 6                | 0,283         | 9,4          | 0,862          | 28,7          | 0,579         |
| 7                | 0,231         | 7,7          | 0,709          | 23,6          | 0,478         |
| 8                | 0,194         | 6,5          | 0,598          | 19,9          | 0,404         |
| $P_{mi}^{\pi} =$ |               |              |                |               | 1,175         |

Об'єм камери згорання

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

$$V_s = [AB] = 190 \text{ мм}$$

$$V_c = 27,143 \text{ мм}$$

Приведений робочий об'єм

Похибка середнього індикаторного тиску.

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

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

$$P_{mi\text{ ср}} = 1,151 \quad \text{МПа}$$

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

Похибка не перевищує 5%

## Розрахунок теплового балансу

Вихідні дані:

|                                                               |               |                     |
|---------------------------------------------------------------|---------------|---------------------|
| ефективна потужність двигуна                                  | $P_e =$       | 622,9 кВт           |
| частота обертання колінвалу                                   | $n =$         | 750 хв-1            |
| діаметр циліндру                                              | $D =$         | 250 мм              |
| хід поршня:                                                   | $S =$         | 340 мм              |
| число циліндрів:                                              | $i =$         | 8                   |
| коефіцієнт тактності:                                         | $Z =$         | 4                   |
| нижча теплота згорання газу:                                  | $Q_H =$       | 21350 кДж/кг        |
| годинна витрата газу:                                         | $B_T =$       | 315,9 $m^3 / год$   |
| Індикаторний к.к.д.:                                          | $\eta_{in} =$ | 0,37                |
| ефективний к.к.д.:                                            | $\eta_e =$    | 0,33                |
| кількість свіжого заряду                                      | $M_l =$       | 10,690 кмоль/кг     |
| загальна кількість продуктів згорання                         | $M_T =$       | 12,180 кмоль/кг     |
| температура випускних газів                                   | $T_{ср.г.} =$ | 767,0 К             |
| температура на початку стиску                                 | $T_d =$       | 352,0 К             |
| мольна теплоємність продуктів згорання при постійному об'ємі: | $mC_v =$      | 24,05 кДж/(кмоль*К) |
| мольна теплоємність свіжого заряду при постійному об'ємі:     | $mC_v =$      | 21,86 кДж/(кмоль*К) |
| середній індикаторний тиск:                                   | $P_{mi} =$    | 1127,63 кПа         |

Рівняння теплового балансу.

Загальна кількість теплоти, введеної в двигун з паливом

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

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

Теплота, яка підводиться в циліндр двигуна з паливом:

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

$$Q_{II} = 1873,6 \text{ кВт}$$

у відсотковому відношенні  $q_{II}$  приймаємо за 100%

Теплота, еквівалентна ефективній роботі двигуна:

$$Q_e = 1000 \cdot P_e$$

$$Q_e = 622,9 \text{ кВт}$$

у відсотковому відношенні

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

$$q = 33,2 \%$$

Перевірка:  $Q'_e = Q_n \cdot \eta_e$

$$Q'_e = 620 \text{ кВт}$$

Вираховуємо похибку

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

$$\Delta = 0,47 \%$$

похибка не перевищує 1%

Теплота, яка відводиться охолоджувальною рідиною:

$$Q_c = Q_w + Q_{г.п.} + Q_{в.н.}$$

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

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

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

Теплообмін між робочим тілом і стінками циліндра.

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

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

З експериментальних даних:

$$W_{нап.} = 0 \quad W_{г.р.} = 0,08-0,25 \quad 0,09$$

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

$$Q_w = 187,4 \text{ кВт}$$

Теплота, еквівалентна роботі на тертя поршня по гільзі циліндра.

Середній тиск механічних втрат в механізмах двигуна.

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

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

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

$$C_m = 8,5 \text{ м/с}$$

$$P_{мд} = 188,3 \text{ кПа}$$

Середній тиск тертя поршня:

$$P_{ср.т.} = 0,6 \cdot P_{мд}$$

$$P_{ср.т.} = 112,98 \text{ кПа}$$

Потужність тертя поршнів двигуна:

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

де  $V_s$ - робочий об'єм циліндру.

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

$$V_s = 0,0167 \text{ м}^3$$

$$P_n = 94,2 \text{ кВт}$$

Теплота, еквівалентна роботі тертя поршнів:

$$Q_{T.П.} = P_{П.}$$

$$Q_{T.П.} = 94,2 \text{ кВт}$$

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

$$Q_B = Q_W + Q_{T.П.}$$

$$Q'_B = 281,6 \text{ кВт}$$

тоді витрата охолоджуючої рідини:

$$V_B = \frac{Q'_B \cdot K}{\rho_{\epsilon} \cdot C_{m\epsilon} \cdot \Delta T_{\epsilon}}$$

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

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

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

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

$$\Delta T_{\epsilon} = 10 \text{ К}$$

$$V_B = 0,0101 \text{ м}^3/\text{с}$$

Потужність, яка використовується на привід водяного насосу.

$$P_{\epsilon.н.} = V_{\epsilon} \cdot \Delta P_{\epsilon} / \eta_{\epsilon.н.}$$

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

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

$$\eta_{\epsilon.н.} = 0,6$$

$$P_{\epsilon.н.} = 1,65 \text{ кВт}$$

$$\text{Тоді } Q_{\epsilon.н.} = 1,65 \text{ кВт}$$

Загальна кількість теплоти, яка відводиться охолоджувальною рідиною.

$$Q_{\epsilon} = Q_W + Q_{T.П.} + Q_{\epsilon.н.}$$

$$Q_{\epsilon} = 283,2 \text{ кВт}$$

що складає у відсотковому відношенні:

$$q_{\epsilon} = Q_{\epsilon} / Q_{П.} \cdot 100\%$$

$$q_{\epsilon} = 15,12 \%$$

Теплота, яка виноситься випускними газами:

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

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

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

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

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

$$Q_{\Gamma} = 901,8 \text{ кВт}$$

Що складає у відсотковому відношенні:

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

$$q_{\Gamma} = 48,13 \%$$

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

Теплота, яка відводиться маслом, від гарячих деталей двигуна.

$$Q_{\text{МД}} = (Q_w + Q_{\text{МД}}) - Q_s$$

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

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

$$\Delta_{\text{МД}} = 0,0626$$

тоді

$$Q_{\text{МД}} = 117,2 \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{М1}} = 21,4 \text{ кВт}$$

Теплота, еквівалентна роботі на привід насоса системи мащення.

Витрата циркуляційного масла.

$$V_M = \frac{K \cdot Q_{\text{М1}}}{\rho_M \cdot C_{\text{тм}} \cdot \Delta T_M}$$

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

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

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

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

$$\Delta T_M = 8 \text{ К}$$

$$V_M = 0,0021 \text{ м}^3/\text{с}$$

потужність, яка використовується на привід масляного насоса:

$$P_{\text{М.Н.}} = \frac{V_M \cdot P_0}{\eta \cdot 10^3}$$

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

$$P_0 = 400000 \quad \text{Па}$$

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

$$\eta_m = 0,7$$

$$P_{\text{м.н.}} = 1,21 \text{ кВт}$$

тоді  $Q_{H2} = 1000 \cdot P_{MH}$

$$Q_{M2} = 1,2 \text{ кВт}$$

Загальна кількість теплоти складає:

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

$$Q_M = 22,6 \text{ кВт}$$

у відсотковому відношенні

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

$$q_M = 1,20 \%$$

Невраховані теплові втрати

$$Q_{H.B.} = Q_{II} - (Q_e + Q_c + Q_r + Q_M)$$

$$Q_{H.B.} = 43,0 \text{ кВт}$$

що складає у відсотковому відношенні:

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

$$q_{H.B.} = 2,30 \%$$

Всі отримані дані зведені в таблицю 2.5

Таблиця 2.5 Зведена таблиця теплового балансу.

| Складові теплового балансу                              | кВт    | %    |
|---------------------------------------------------------|--------|------|
| теплота, еквівалентна ефективній роботі                 | 622,9  | 33,2 |
| теплота, яка відводиться охолоджувальною рідиною        | 283,2  | 15,1 |
| теплота, яка виноситься випускними газами               | 901,8  | 48,1 |
| теплота, яка відводиться маслом                         | 22,6   | 1,2  |
| невраховані теплові втрати                              | 43,0   | 2,3  |
| Загальна кількість теплоти, введеної в двигун з паливом | 1873,6 | 100  |

## 2.5 Динамічний розрахунок двигуна

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

Вихідні дані:

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

Кутова швидкість

$$\omega = \frac{\pi \times n}{30}$$
$$\omega = 78,5 \quad \text{с}^{-1}$$

Площа днища поршня

$$A = \frac{\pi \times d^2}{4}$$
$$A = 0,049 \quad \text{м}^2$$

Сила тиску газу

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

Сила інерції мас, що рухаються зворотно-поступально.

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

Сумарна сила (дійсна).

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

Нормальна сила.

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

Радіальна сила.

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

Дотична сила.

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

Сила інерції мас, що рухаються обертально.

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

$$F_{\text{иоб}} = -47,4 \quad \text{кН}$$

$$F_{\text{иоб}} = -47,4 \quad \text{мм}$$

Маса деталей, що рухаються обертально

$$m_R = 45,29 \quad \text{кг}$$

Тиск газів в залежності від кута повороту колінчастого вала

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

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

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

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

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

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

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

Робочий об'єм

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

Об'єм камери сгорання

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

Повний об'єм

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

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

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

Таблиця 2.5

Результати динамічного розрахунку.

| $\varphi^\circ$ | Vf     | F <sub>Г</sub> | F <sub>И</sub> | F <sub>д</sub> | F <sub>N</sub> | F <sub>г</sub> | F <sub>к</sub> | F <sub>Г</sub> | F <sub>И</sub> | F <sub>д</sub> | F <sub>N</sub> | F <sub>г</sub> | F <sub>к</sub> |
|-----------------|--------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| ПКВ             | мЗ     | кН             | кН             | кН             | кН             | кН             | кН             | мм             | мм             | мм             | мм             | мм             | мм             |
| 0               | 0,0021 | 4,538          | -97,700        | -93,162        | 0,000          | -93,162        | 0,000          | 4,54           | -97,70         | -93,16         | 0,00           | -93,16         | 0,00           |
| 10              | 0,0022 | 4,538          | -95,334        | -90,796        | -3,926         | -88,732        | -19,652        | 4,54           | -95,33         | -90,80         | -3,93          | -88,73         | -19,65         |
| 20              | 0,0027 | 4,538          | -88,415        | -83,877        | -7,058         | -76,356        | -35,452        | 4,54           | -88,42         | -83,88         | -7,06          | -76,36         | -35,45         |
| 30              | 0,0035 | 4,538          | -77,459        | -72,920        | -8,803         | -58,557        | -44,416        | 4,54           | -77,46         | -72,92         | -8,80          | -58,56         | -44,42         |
| 40              | 0,0045 | 4,538          | -63,267        | -58,729        | -8,901         | -38,843        | -45,075        | 4,54           | -63,27         | -58,73         | -8,90          | -38,84         | -45,08         |
| 50              | 0,0057 | 4,538          | -46,847        | -42,309        | -7,446         | -20,872        | -37,717        | 4,54           | -46,85         | -42,31         | -7,45          | -20,87         | -37,72         |
| 60              | 0,007  | 4,538          | -29,310        | -24,772        | -4,805         | -7,628         | -24,200        | 4,54           | -29,31         | -24,77         | -4,81          | -7,63          | -24,20         |
| 70              | 0,0085 | 4,538          | -11,764        | -7,226         | -1,489         | -0,830         | -7,387         | 4,54           | -11,76         | -7,23          | -1,49          | -0,83          | -7,39          |
| 80              | 0,01   | 4,538          | 4,789          | 9,328          | 1,986          | -0,714         | 9,597          | 4,54           | 4,79           | 9,33           | 1,99           | -0,71          | 9,60           |
| 90              | 0,0115 | 4,538          | 19,540         | 24,078         | 5,181          | -6,217         | 24,078         | 4,54           | 19,54          | 24,08          | 5,18           | -6,22          | 24,08          |
| 100             | 0,0129 | 4,538          | 31,934         | 36,472         | 7,767          | -15,457        | 34,309         | 4,54           | 31,93          | 36,47          | 7,77           | -15,46         | 34,31          |
| 110             | 0,0142 | 4,538          | 41,701         | 46,239         | 9,529          | -26,316        | 39,628         | 4,54           | 41,70          | 46,24          | 9,53           | -26,32         | 39,63          |
| 120             | 0,0154 | 4,538          | 48,850         | 53,388         | 10,357         | -36,948        | 40,316         | 4,54           | 48,85          | 53,39          | 10,36          | -36,95         | 40,32          |
| 130             | 0,0164 | 4,538          | 53,633         | 58,172         | 10,237         | -46,087        | 37,266         | 4,54           | 53,63          | 58,17          | 10,24          | -46,09         | 37,27          |
| 140             | 0,0172 | 4,538          | 56,481         | 61,019         | 9,249          | -53,129        | 31,612         | 4,54           | 56,48          | 61,02          | 9,25           | -53,13         | 31,61          |
| 150             | 0,0179 | 4,538          | 57,919         | 62,457         | 7,540          | -58,024        | 24,414         | 4,54           | 57,92          | 62,46          | 7,54           | -58,02         | 24,41          |
| 160             | 0,0184 | 4,538          | 58,478         | 63,016         | 5,302          | -61,066        | 16,471         | 4,54           | 58,48          | 63,02          | 5,30           | -61,07         | 16,47          |
| 170             | 0,0187 | 4,538          | 58,611         | 63,149         | 2,730          | -62,666        | 8,263          | 4,54           | 58,61          | 63,15          | 2,73           | -62,67         | 8,26           |
| 180             | 0,0188 | 4,538          | 58,620         | 63,158         | 0,000          | -63,158        | 0,000          | 4,54           | 58,62          | 63,16          | 0,00           | -63,16         | 0,00           |
| 190             | 0,0187 | 4,602          | 58,611         | 63,213         | -2,733         | -62,730        | -8,272         | 4,60           | 58,61          | 63,21          | -2,73          | -62,73         | -8,27          |
| 200             | 0,0184 | 4,799          | 58,478         | 63,277         | -5,324         | -61,318        | -16,539        | 4,80           | 58,48          | 63,28          | -5,32          | -61,32         | -16,54         |
| 210             | 0,0179 | 5,143          | 57,919         | 63,062         | -7,613         | -58,586        | -24,650        | 5,14           | 57,92          | 63,06          | -7,61          | -58,59         | -24,65         |
| 220             | 0,0172 | 5,660          | 56,481         | 62,141         | -9,419         | -54,106        | -32,193        | 5,66           | 56,48          | 62,14          | -9,42          | -54,11         | -32,19         |
| 230             | 0,0164 | 6,391          | 53,633         | 60,024         | -10,563        | -47,555        | -38,453        | 6,39           | 53,63          | 60,02          | -10,56         | -47,55         | -38,45         |
| 240             | 0,0154 | 7,397          | 48,850         | 56,247         | -10,911        | -38,926        | -42,474        | 7,40           | 48,85          | 56,25          | -10,91         | -38,93         | -42,47         |

Продовження таблиці 2.5

|     |        |         |         |         |         |         |         |        |        |        |        |        |        |
|-----|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 250 | 0,0142 | 8,770   | 41,701  | 50,471  | -10,401 | -28,724 | -43,255 | 8,77   | 41,70  | 50,47  | -10,40 | -28,72 | -43,25 |
| 260 | 0,0129 | 10,649  | 31,934  | 42,583  | -9,068  | -18,047 | -40,057 | 10,65  | 31,93  | 42,58  | -9,07  | -18,05 | -40,06 |
| 270 | 0,0115 | 13,245  | 19,540  | 32,785  | -7,055  | -8,465  | -32,785 | 13,24  | 19,54  | 32,78  | -7,05  | -8,47  | -32,78 |
| 280 | 0,01   | 16,889  | 4,789   | 21,678  | -4,617  | -1,659  | -22,305 | 16,89  | 4,79   | 21,68  | -4,62  | -1,66  | -22,30 |
| 290 | 0,0085 | 22,104  | -11,764 | 10,340  | -2,131  | 1,188   | -10,572 | 22,10  | -11,76 | 10,34  | -2,13  | 1,19   | -10,57 |
| 300 | 0,007  | 29,734  | -29,310 | 0,424   | -0,082  | 0,131   | -0,414  | 29,73  | -29,31 | 0,42   | -0,08  | 0,13   | -0,41  |
| 310 | 0,0057 | 41,119  | -46,847 | -5,728  | 1,008   | -2,826  | 5,107   | 41,12  | -46,85 | -5,73  | 1,01   | -2,83  | 5,11   |
| 320 | 0,0045 | 58,258  | -63,267 | -5,009  | 0,759   | -3,313  | 3,844   | 58,26  | -63,27 | -5,01  | 0,76   | -3,31  | 3,84   |
| 330 | 0,0035 | 83,511  | -77,459 | 6,052   | -0,731  | 4,860   | -3,687  | 83,51  | -77,46 | 6,05   | -0,73  | 4,86   | -3,69  |
| 340 | 0,0027 | 117,329 | -88,415 | 28,914  | -2,433  | 26,321  | -12,221 | 117,33 | -88,42 | 28,91  | -2,43  | 26,32  | -12,22 |
| 350 | 0,0022 | 151,992 | -95,334 | 56,657  | -2,450  | 55,369  | -12,263 | 151,99 | -95,33 | 56,66  | -2,45  | 55,37  | -12,26 |
| 360 | 0,0021 | 279,811 | -97,700 | 182,111 | 0,000   | 182,111 | 0,000   | 279,81 | -97,70 | 182,11 | 0,00   | 182,11 | 0,00   |
| 370 | 0,0022 | 411,650 | -95,334 | 316,315 | 13,676  | 309,123 | 68,464  | 411,65 | -95,33 | 316,32 | 13,68  | 309,12 | 68,46  |
| 380 | 0,0027 | 286,267 | -88,415 | 197,852 | 16,648  | 180,113 | 83,625  | 286,27 | -88,42 | 197,85 | 16,65  | 180,11 | 83,62  |
| 390 | 0,0035 | 205,735 | -77,459 | 128,276 | 15,486  | 103,010 | 78,134  | 205,74 | -77,46 | 128,28 | 15,49  | 103,01 | 78,13  |
| 400 | 0,0045 | 145,599 | -63,267 | 82,332  | 12,479  | 54,454  | 63,191  | 145,60 | -63,27 | 82,33  | 12,48  | 54,45  | 63,19  |
| 410 | 0,0057 | 104,784 | -46,847 | 57,937  | 10,196  | 28,581  | 51,649  | 104,78 | -46,85 | 57,94  | 10,20  | 28,58  | 51,65  |
| 420 | 0,007  | 77,673  | -29,310 | 48,363  | 9,382   | 14,893  | 47,246  | 77,67  | -29,31 | 48,36  | 9,38   | 14,89  | 47,25  |
| 430 | 0,0085 | 59,503  | -11,764 | 47,740  | 9,838   | 5,486   | 48,807  | 59,50  | -11,76 | 47,74  | 9,84   | 5,49   | 48,81  |
| 440 | 0,01   | 47,083  | 4,789   | 51,872  | 11,047  | -3,969  | 53,372  | 47,08  | 4,79   | 51,87  | 11,05  | -3,97  | 53,37  |
| 450 | 0,0115 | 38,406  | 19,540  | 57,946  | 12,469  | -14,962 | 57,946  | 38,41  | 19,54  | 57,95  | 12,47  | -14,96 | 57,95  |
| 460 | 0,0129 | 32,224  | 31,934  | 64,158  | 13,663  | -27,191 | 60,353  | 32,22  | 31,93  | 64,16  | 13,66  | -27,19 | 60,35  |
| 470 | 0,0142 | 27,750  | 41,701  | 69,450  | 14,313  | -39,526 | 59,521  | 27,75  | 41,70  | 69,45  | 14,31  | -39,53 | 59,52  |
| 480 | 0,0154 | 24,480  | 48,850  | 73,330  | 14,225  | -50,748 | 55,374  | 24,48  | 48,85  | 73,33  | 14,23  | -50,75 | 55,37  |
| 490 | 0,0164 | 22,084  | 53,633  | 75,718  | 13,325  | -59,988 | 48,506  | 22,08  | 53,63  | 75,72  | 13,33  | -59,99 | 48,51  |
| 500 | 0,0172 | 20,344  | 56,481  | 76,825  | 11,644  | -66,892 | 39,801  | 20,34  | 56,48  | 76,83  | 11,64  | -66,89 | 39,80  |
| 510 | 0,0179 | 19,113  | 57,919  | 77,032  | 9,300   | -71,564 | 30,111  | 19,11  | 57,92  | 77,03  | 9,30   | -71,56 | 30,11  |
| 520 | 0,0184 | 18,294  | 58,478  | 76,772  | 6,460   | -74,396 | 20,066  | 18,29  | 58,48  | 76,77  | 6,46   | -74,40 | 20,07  |
| 530 | 0,0187 | 17,825  | 58,611  | 76,436  | 3,305   | -75,852 | 10,002  | 17,83  | 58,61  | 76,44  | 3,30   | -75,85 | 10,00  |

Продовження таблиці 2.5

|            |        |        |         |         |         |         |         |       |        |        |        |        |        |
|------------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| <b>540</b> | 0,0188 | 14,459 | 58,620  | 73,079  | 0,000   | -73,079 | 0,000   | 14,46 | 58,62  | 73,08  | 0,00   | -73,08 | 0,00   |
| <b>550</b> | 0,0187 | 4,842  | 58,611  | 63,454  | -2,743  | -62,968 | -8,303  | 4,84  | 58,61  | 63,45  | -2,74  | -62,97 | -8,30  |
| <b>560</b> | 0,0184 | 4,842  | 58,478  | 63,320  | -5,328  | -61,360 | -16,550 | 4,84  | 58,48  | 63,32  | -5,33  | -61,36 | -16,55 |
| <b>570</b> | 0,0179 | 4,842  | 57,919  | 62,761  | -7,577  | -58,306 | -24,533 | 4,84  | 57,92  | 62,76  | -7,58  | -58,31 | -24,53 |
| <b>580</b> | 0,0172 | 4,842  | 56,481  | 61,324  | -9,295  | -53,394 | -31,770 | 4,84  | 56,48  | 61,32  | -9,29  | -53,39 | -31,77 |
| <b>590</b> | 0,0164 | 4,842  | 53,633  | 58,476  | -10,291 | -46,328 | -37,461 | 4,84  | 53,63  | 58,48  | -10,29 | -46,33 | -37,46 |
| <b>600</b> | 0,0154 | 4,842  | 48,850  | 53,693  | -10,416 | -37,158 | -40,546 | 4,84  | 48,85  | 53,69  | -10,42 | -37,16 | -40,55 |
| <b>610</b> | 0,0142 | 4,842  | 41,701  | 46,543  | -9,592  | -26,489 | -39,889 | 4,84  | 41,70  | 46,54  | -9,59  | -26,49 | -39,89 |
| <b>620</b> | 0,0129 | 4,842  | 31,934  | 36,776  | -7,832  | -15,586 | -34,596 | 4,84  | 31,93  | 36,78  | -7,83  | -15,59 | -34,60 |
| <b>630</b> | 0,0115 | 4,842  | 19,540  | 24,383  | -5,247  | -6,296  | -24,383 | 4,84  | 19,54  | 24,38  | -5,25  | -6,30  | -24,38 |
| <b>640</b> | 0,01   | 4,842  | 4,789   | 9,632   | -2,051  | -0,737  | -9,910  | 4,84  | 4,79   | 9,63   | -2,05  | -0,74  | -9,91  |
| <b>650</b> | 0,0085 | 4,842  | -11,764 | -6,921  | 1,426   | -0,795  | 7,076   | 4,84  | -11,76 | -6,92  | 1,43   | -0,80  | 7,08   |
| <b>660</b> | 0,007  | 4,842  | -29,310 | -24,468 | 4,746   | -7,535  | 23,903  | 4,84  | -29,31 | -24,47 | 4,75   | -7,53  | 23,90  |
| <b>670</b> | 0,0057 | 4,842  | -46,847 | -42,005 | 7,392   | -20,722 | 37,446  | 4,84  | -46,85 | -42,00 | 7,39   | -20,72 | 37,45  |
| <b>680</b> | 0,0045 | 4,842  | -63,267 | -58,425 | 8,855   | -38,642 | 44,842  | 4,84  | -63,27 | -58,42 | 8,86   | -38,64 | 44,84  |
| <b>690</b> | 0,0035 | 4,842  | -77,459 | -72,616 | 8,767   | -58,313 | 44,231  | 4,84  | -77,46 | -72,62 | 8,77   | -58,31 | 44,23  |
| <b>700</b> | 0,0027 | 4,842  | -88,415 | -83,573 | 7,032   | -76,080 | 35,323  | 4,84  | -88,42 | -83,57 | 7,03   | -76,08 | 35,32  |
| <b>710</b> | 0,0022 | 4,842  | -95,334 | -90,492 | 3,912   | -88,434 | 19,586  | 4,84  | -95,33 | -90,49 | 3,91   | -88,43 | 19,59  |
| <b>720</b> | 0,0021 | 4,842  | -97,700 | -92,858 | 0,000   | -92,858 | 0,000   | 4,84  | -97,70 | -92,86 | 0,00   | -92,86 | 0,00   |

### 3. НАУКОВИЙ РОЗДІЛ

#### 3.1 Опис системи газопостачання

Завдання сучасної енергетики - забезпечувати надійне і довгострокове енергопостачання при одночасному збереженні викопних паливних ресурсів і захисті довкілля. Для цього потрібний економний підхід до використання існуючих енергоресурсів і перехід на поновлювані джерела.

При проведенні дослідження приймали на увазі тільки наявні сьогодні на ринку технології, і передбачалося, що рівень життя в європейських країнах зрівнюватиметься. Так, до 2050 року 90% енергії, споживаної європейськими країнами, цілком може бути зроблена з використанням поновлюваних енергоресурсів.

При цьому ціна на електроенергію збільшиться в два рази, але в той же час і споживання енергоносіїв зменшиться удвічі. Практично третина енергії робитиметься з біомаси.

Біомаса - це загальний термін для позначення органічних продуктів і відходів (рідкий гній, зернові залишки, олійні і цукровмісні культури), промислових і побутових відходів, деревини, відходів харчової промисловості та ін. Суху біомасу можна відразу використовувати як паливо, в інших випадках її можна перетворити у біогаз шляхом "зброджування", газифікації або випарювання.

У природі біогаз утворюється при розкладанні органічних сполук в анаеробних умовах, наприклад у болотах, на берегах водойм і в травному тракті деяких тварин. Таким чином, фізика природних процесів показує нам шляхи отримання біогазу.

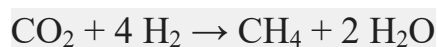
Для промислового виробництва потрібно розробку комплексної технології, що включає такі компоненти, як накопичувач біомаси, біогазовий реактор (ферментатор), в якому відбувається зброджування, і резервуар для біогазу з системою очищення.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 131.61.23.03 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                          | 41   |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

Практично усі органічні речовини розкладаються шляхом ферментації. У анаеробних умовах мікроорганізми, що беруть участь процесі зброджування або розкладання, адаптуються до початкового субстрату. У зв'язку з тим що бродіння відбувається у вологому середовищі, біосубстрат повинен містити приблизно 50% води. Біологічне розкладання здійснюється при температурі від 35°C до 40°C. При анаеробному бродінні відбувається багатоступінчастий процес перетворення органічних речовин з високомолекулярних з'єднань в низькомолекулярні, які можна розчинити у воді. На одному етапі розчинені речовини розкладаються, утворюючи органічні кислоти, низкоградусний алкоголь, водень, аміак, сірководень і вуглекислий газ. На іншому - бактерії перетворюють речовини в оцтову і мурашину кислоти і в процесі метаногенеза розщеплюють їх, утворюючи метан.



Одночасно зміст  $\text{CO}_2$  зменшується за рахунок водню, внаслідок чого також утворюється метан.



В якості сировини для виробництва біогазу часто використовується рідкий гній. Для збільшення виходу газу можна додати так звані коферменти, за рахунок яких гомогенізується виробництво біогазу, об'єм якого залежить від використовуваного субстрату.

Якість біогазу і підготовка паливного газу не залежить від використовуваної початкової сировини і від швидкості процесу.

Оскільки біогаз містить такі шкідливі компоненти, як сірка, аміак, іноді кремній, а також їх з'єднання, можливості його використання обмежені. Ці компоненти можуть стати причиною зносу і корозії двигунів внутрішнього згорання, тому їх зміст в газі не повинен перевищувати встановлених норм. Крім того, газ, що відпрацювали, не можна охолоджувати до температури менше 140...150°C, інакше, в теплообмінниках і в нижній частині системи каналів для

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 131.61.23.03 ПЗ | Лист |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          | 42   |

газу, що відпрацював, накопичуватиметься кислотний конденсат.

Існує декілька способів видалення сірки з паливного газу. При біологічному очищенні в зону газу у ферментаторі подається повітря. В результаті окислення бактеріями сірководня відділяються сірка і сульфат, які віддаляються з рідкими компонентами. Інший спосіб - це хімічне осадження. В цьому випадку в розчин у ферментаторі додається трихлорид заліза. Ці методи добре зарекомендували себе в установках очищення стічних вод.

Найбільш оптимальні результати досягаються при очищенні газу з використанням активованого вугілля, причому з газу видаляється не лише сірка, але і кремній. В цьому випадку якість біогазу відповідає якості природного газу, а використання окислювального каталітичного газонейтралізатора забезпечує додаткове зниження рівня емісії вихлопних газів.

Використання сільськогосподарських відходів в якості біопалива дозволяє забезпечити замкнутий цикл сільськогосподарського виробництва. Залишок від анаеробного зброджування не має запаху і може бути вивезений на поля у вигляді добрива. Такий вид добрива відразу поглинається рослинами без забруднення ґрунту або ґрунтових вод.

Вироблення енергії з біогазу, у світлі регулярних енергетичних криз, відносять до перспективних поновлюваних джерел енергії. Біогазові установки перетворюють сонячну енергію, накопичену рослинами, у біогаз в ході процесу біологічного розкладання. Цей процес є нейтральним відносно балансу  $\text{CO}_2$ , оскільки в атмосферу вивільняється тільки та кількість діоксиду вуглецю, яке раніше був поглинено рослинами в процесі фотосинтезу.

Вироблення електричної і теплової енергії у біогазових установках є перспективною технологією, яка допомагає людству стати незалежним від обмежених запасів викопного палива, а також захищає довкілля.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 131.61.23.03 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                          | 43   |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

### 3.2 Опис системи подачі паливного газу

Використання в якості палива двигуна біогазу несе в своїй основі небезпеку неоднорідності складу паливного газу, що часто призводить до негативних наслідків у робочому процесі двигуна і, навіть, пропусків запалювання. При цьому вміст шкідливих домішок у складі випускних газів двигуна ( $\text{CO}$  та  $\text{NO}_x$ ) значно збільшується. Це зумовлено можливою наявністю у складі біогазу негорючих домішок.

Тому застосування в паливній апаратурі газових двигунів електронно керованих систем регулювання складу газоповітряної суміші, що мають змогу миттєво реагувати на змінення складу паливної суміші, є надзвичайно актуальним в умовах сучасної боротьби альтернативних екологічно чистих видів палива з вуглеводневими видами палива. Такі системи дають змогу працювати двигунам не тільки на збагачених природних газах але й на доволі збіднених сумішах природного газу, скрапленому газі, біогазі, газах очисних споруд і сміттєвих сховищ, шахтному газі, попутному нафтовому газі, коксовому газі тощо.

В даному дипломному проєкті спроектована газова шафа, яка застосовується для подачі біогазу до двигуна

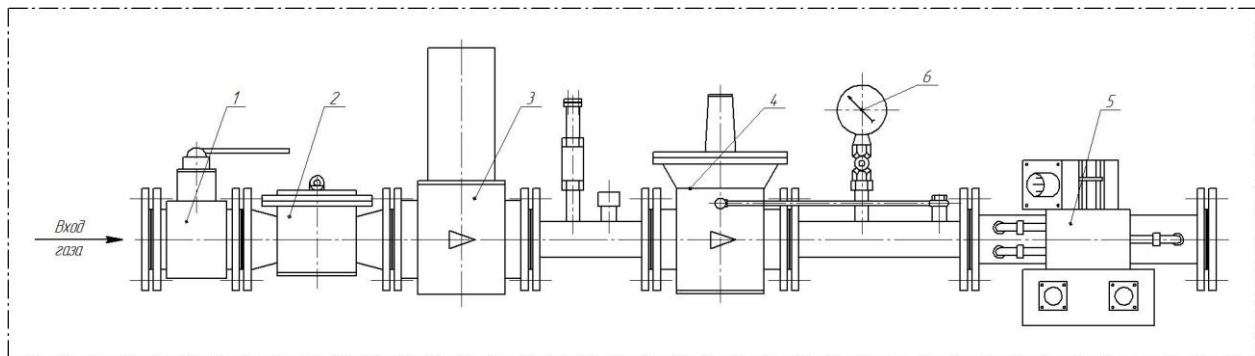


Рисунок 3.1 Газова шафа

1 – шаровий кран; 2 – газовий фільтр; 3 – електромагнітний клапан; 4 – газовий редуктор; 5 – дозуючий газовий клапан; 6 – манометр;

Після відкриття шарового крану біогаз поступає до газового фільтру. Газовий фільтр призначений для очищення газу від механічних домішок, які могли потрапити в систему трубопроводів. Електромагнітний клапан призначений

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 131.61.23.03 ПЗ | Лист |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          | 44   |

для подачі біогазу до двигуна (відкриття клапана автоматичне після натискання кнопки «пуск»). Газовий регулятор тиску знижує тиск до потрібного рівня. Дозуючий газовий клапан підтримує постійний розхід газ.

### 3.3 Система газообміну

Система газообміну (рис.3.2) призначена для підведення газоповітряної суміші в циліндри двигуна і відведення від них відпрацьованих газів. Основні вузли, які входять в систему: комплект газової апаратури, фільтр-глушник, змішувач, турбокомпресор, колектор впускання, випускний колектор.

#### Фільтр-глушник

*Фільтр-глушник призначений для очищення повітря, що нагнітається в двигун, від пилу, сторонніх предметів і інших забруднень, а також для зниження шуму впускання.*

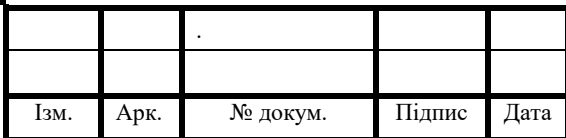
Фільтр-глушник через перехідний патрубок кріпиться до турбокомпресора, а також до патрубку під'єднується система вентиляції картера. Періодично необхідно робити його очищення.

#### Комплект газової апаратури

У комплект газової апаратури входить: два кульові крани, регулятор співвідношення газ-повітря, два електромагнітних клапани, манометр, а також комплект патрубків з фланцями.

Вказаний комплект призначений для монтажу трубопроводу (блоку) газової апаратури на місці експлуатації, який повинен забезпечувати регулювання подачі газу в двигун, а також

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 131.61.23.03 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                          | 45   |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |



Лист

### Рисунок 3.1 Принципова схема системи газообміну

1-шаровий кран; 2-фільтр; 3-редуктор; 4-електромагнітний клапан свічки; 5-електромагнітний клапан подачі газу; 6-регулятор нульового тиску; 7-заслінка дроссельна; 8-мановакууметр; 9-охолоджувач наддувочного повітря; 10-фільтр-глушник; 11-турбокомпресор; 12-розподільник потоку випускних газів; 13-колектор випускний; 14-мановакууметр; 15-колектор впускний; 16-шаровий кран на свічку; 17-манометр; 18-електронно керований

-клапан; 19-змішувач зі вставкою Вентурі; 20-контроллер відношення газ-повітря

*дистанційне відкриття і закриття електромагнітних клапанів або їх автоматичне виключення при аварійній зупинці двигуна.*

### 3.2 Опис системи подачі паливного газу

Використання в якості палива двигуна біогазу несе в своїй основі небезпеку неоднорідності складу паливного газу, що часто призводить до негативних наслідків у робочому процесі двигуна і, навіть, пропусків запалювання. При цьому вміст шкідливих домішок у складі випускних газів двигуна ( $\text{CO}$  та  $\text{NO}_x$ ) значно збільшується. Це зумовлено можливою наявністю у складі біогазу негорючих домішок.

Тому застосування в паливній апаратурі газових двигунів електронно керованих систем регулювання складу газоповітряної суміші, що мають змогу миттєво реагувати на змінення складу паливної суміші, є надзвичайно актуальним в умовах сучасної боротьби альтернативних екологічно чистих видів палива з вуглеводневими видами палива. Такі системи дають змогу працювати двигунам не тільки на збагачених природних газах але й на доволі збіднених сумішах природного газу, скрапленому газі, біогазі, газах очисних споруд і смітєвих сховищ, шахтному газі, попутному нафтовому газі, коксовому газі тощо.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 131.61.23.03 ПЗ | Лист |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          | 47   |

В кваліфікаційній роботі спроектована система регулювання складу газоповітряної суміші для газового чотиритактного двигуна, що використовує в якості палива біогаз. Система включає в себе електронно керований  $\lambda$ -клапан, змішувач газоповітряної суміші, дросельна заслінка та контролер співвідношення газ-повітря. Контролер приймає сигнали від датчиків температури та тиску газоповітряної суміші на вході у впускний колектор, частоти обертання колінчастого валу та відповідно керує  $\lambda$ -клапаном, що в свою чергу регулює кількість паливного газу у складі газоповітряної суміші.

Для більш надійного запалювання газоповітряної суміші та запобігання пропусків запалювання по циліндрах двигуна був запропонований форкамерний варіант запалювання робочої суміші. Тому в схемі системи подачі газу внесені деякі зміни.

Окремий газопровід, на якому встановлений редуктор, підводить газ до автоматичних газових клапанів, що встановлені в стакани на кожній кришці циліндра. Зверху у стакан вкручується свічка запалювання. Внутрішня порожнина стакану формує так звану форкамеру.

У форкамері відсутній направлений потік повітря, а відбувається інтенсивна турбулізація повітря, що потрапляє з великою швидкістю в камеру крізь отвори відносно малого перерізу.

При стисненні тиск у основній камері збільшується швидше ніж у форкамері; вирівнювання тиску виникає біля ВМТ. До того у форкамеру впорскується газ під тиском, достатнім для видалення з форкамери продуктів згоряння попереднього циклу та проходить запалення суміші від свічки запалювання. Суміш не згоряє у форкамері повністю у зв'язку з малими розмірами останньої. Залишки суміші разом з розжареними газами по каналу у кришці циліндрів потрапляють до надпоршневого простору та запалюють газоповітряну суміш в основній камері згоряння. В кінці каналу в кришці циліндра встановлений сопловий стакан, що забезпечує розпорошення розжарених газів форкамери крізь соплові отвори в стакані по всьому об'єму основної камери згоряння.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 131.61.23.03 ПЗ | Лист |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          | 48   |

## Змішувач

Основним завданням системи подачі палива в газових двигунах є забезпечення оптимального співвідношення поміж повітрям і паливом на всіх режимах роботи.

В автотракторних і малорозмірних стаціонарних двигунах із системою зовнішнього утворення газоповітряної суміші застосовують змішувальні пристрої, які схожі по принципу роботи із карбюраторами і забезпечують тими же пристроями необхідний склад суміші на всіх режимах.

При зовнішньому утворенні суміші з метою збереження конструкції кришки циліндра двигуна без змін використовують газоповітряні змішувачі. Найбільше застосування в газових двигунах отримали змішувачі із перехрестними або паралельними потоками повітря і газу.

Газоповітряні змішувачі забезпечують якісне утворення суміші завдяки високим швидкостям повітря і газу і мають малий гідравлічний опір. Швидкість газу і повітря в системах живлення газових двигунів звичайно вибирають в межах 30...100м/с, швидкість газоповітряної суміші на 20...25% менше швидкості повітря. Умови експлуатації газових двигунів такі, що вони працюють практично при постійному навантаженні. Тому основним завданням змішувальної камери є забезпечення оптимального коефіцієнту надлишку повітря на характерному експлуатаційному режимі двигуна –  $0,8...0,9 N_{ном}$ , що позитивно вплине на параметри робочого циклу двигуна і найбільше на температуру випускних газів.

Тому в дипломному проекті розроблена змішувальна камера для даного газового двигуна, розрахунок розмірів якої приводиться нижче. Основними перевагами розробленої конструкції камери є те, що вона підтримує практично незмінною величину коефіцієнту надлишку повітря на всіх режимах роботи двигуна. Така оптимальна характеристика змішувальної камери стала результатом правильного вибору її прохідного перерізу і підтримання тиску паливного газу на вході в змішувальну камеру на низькому рівні.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 131.61.23.03 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                          | 49   |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

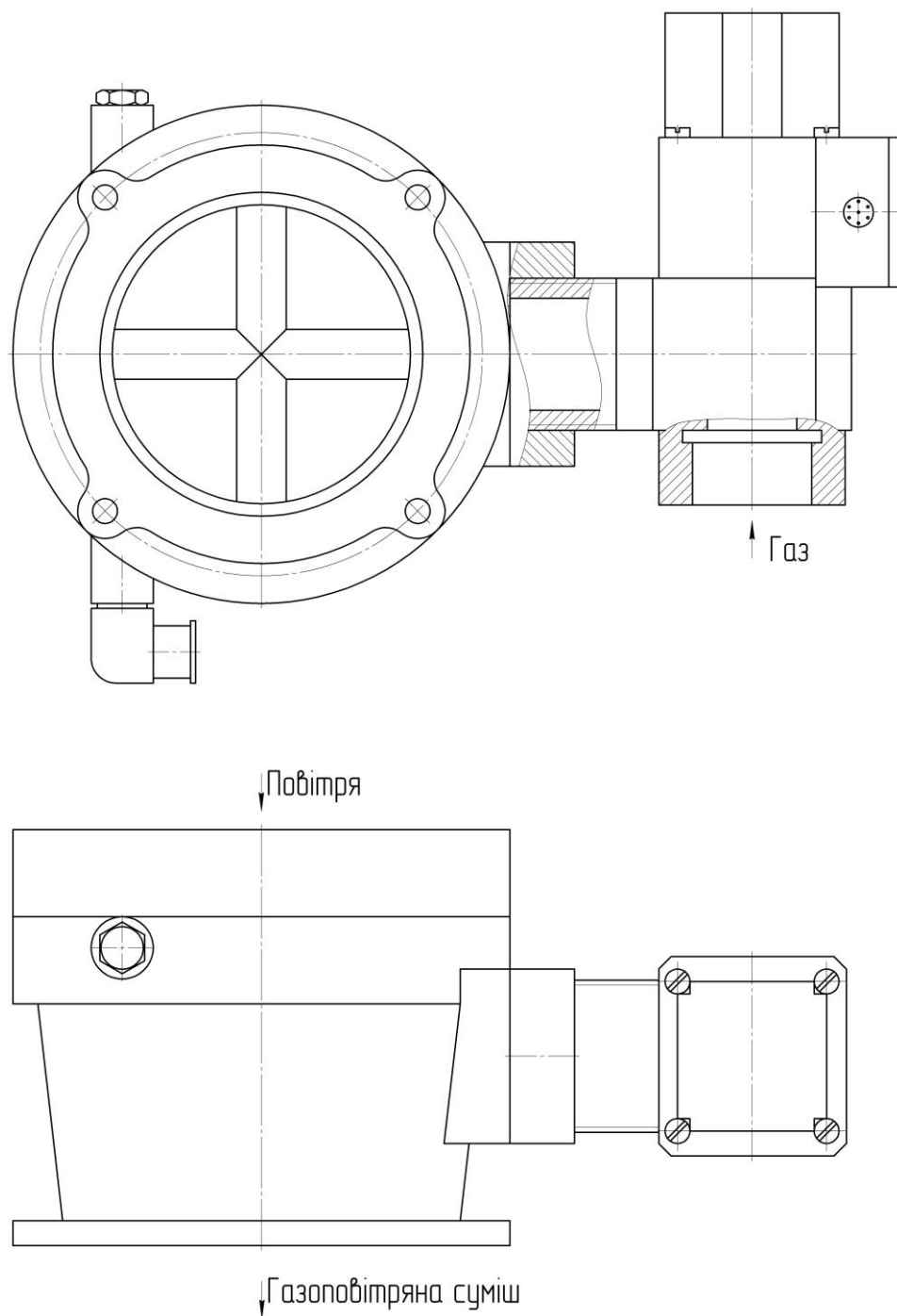


Рисунок 3.3 Змішувач і  $\lambda$ -клапан

Камера змішувача газового двигуна 6ГЧН 25/34 (рис. 3.3) призначена для змішування потоку повітря, що поступає через фільтр-глушник на всмоктування в компресор турбокомпресора з газом, що поступає з газового трубопроводу в камеру. Камера складається з корпусу , в

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 131.61.23.03 ПЗ | Лист |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          | 50   |

який встановлена вставка зі змінним перерізом. Газ з газового трубопроводу через електронно керований  $\lambda$ -клапан поступає в кільцевий простір між корпусом і вставкою Вентурі і через щілину йде на змішування з потоком повітря, і далі на охолоджувач повітря.

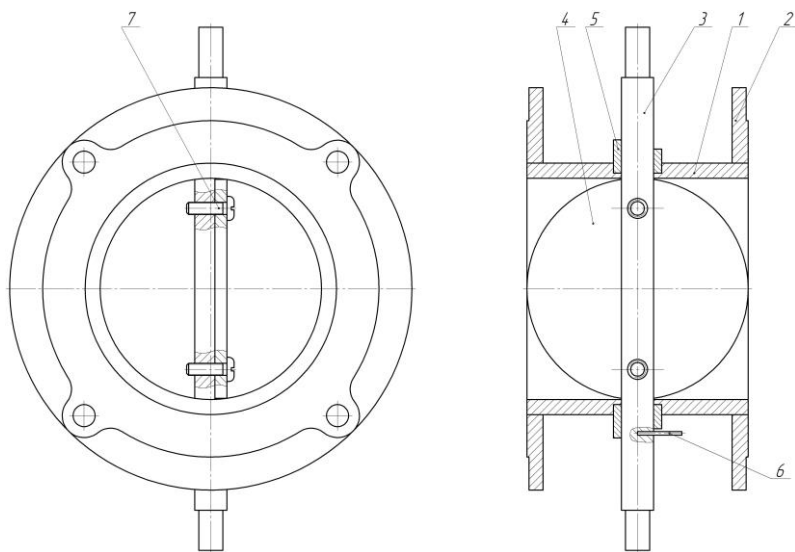
Величина щілини (прохідний перетин) регулюється запрограмованим контролером суміші газ-повітря (залежно від параметрів газоповітряної суміші перед впускним колектором та від частоти обертання колінчастого валу) на місці установки двигун-генератора при здачі його в експлуатацію.

#### Колектор впускний

Впускний колектор двигуна 6ГЧН 25/34 є трубою з привареними патрубками і фланцями, закритими з торців заглушками. У середній частині колектора знаходиться фланець, до якого через регульовану заслінку і перехідник приєднується нагнітач повітря. У торцевій заглушці є бобишка для під'єднання трубки манометра.

#### Рисунок 3.4 Заслінка

1 – труба; 2 – фланець; 3 – вісь; 4 – заслінка; 5 – підшипник;  
6 – фіксатор; 7 – гвинт



|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 131.61.23.03 ПЗ | Лист |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          | 51   |

## Заслінка

Заслінка (рис. 3.4) з приводом від регулятора призначена для регулювання прохідного перетину у впускному колекторі, відповідно, кількості газоповітряної суміші, що поступає в циліндри двигуна залежно від навантаження. Основними її елементами є корпус і заслінка з віссю, яка з мінімальним зазором обертається в корпусі і підшипниках, запресованих в нього.

### 3.3 Розрахунок системи газоповітряної суміші

|                                                            |        |
|------------------------------------------------------------|--------|
| Потужність двигуна (номінальна), $N_e$ , кВт.....          | 620    |
| Номінальне число обертів двигуна, $n$ , об/хв.....         | 600    |
| Годинна витрата газу, $B$ , $m^3/год$ .....                | 176,9  |
| Коефіцієнт надлишку повітря, $\alpha$ .....                | 1,71   |
| Температура повітря, при нормальних умовах, $T_0$ , К..... | 293    |
| Тиск повітря при нормальних умовах, $P_0$ , Па.....        | 101000 |

Теоретично необхідна кількість повітря при нормальних умовах для спалювання 1  $m^3$  біогазу

$L_0 = 1,381 m^3 \text{ пов./}m^3 \text{ газу}$  – з розрахунку робочого циклу двигуна

Об'ємна витрата газоповітряної суміші (ГПС) на виході з змішувача

$$V_{\text{ГПС}} = \alpha \cdot L_0 \cdot B + B = B \cdot (\alpha \cdot L_0 + 1)$$

де:

$B = 176,9 m^3/год$  – з розрахунку робочого циклу двигуна

$$V_{\text{ГПС}} = 176,9 \cdot (1,71 \cdot 1,381 + 1) = 765 m^3/год$$

Об'ємна витрата повітря

$$V_{\text{пов}} = B \cdot \alpha \cdot L_0$$

$$V_{\text{пов}} = 176,9 \cdot 1,71 \cdot 1,381 = 537 m^3$$

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 131.61.23.03 ПЗ | Лист |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          | 52   |

Масова витрата газоповітряної суміші

$$G_{\text{ГПС}} = (\rho_{\text{п}} \cdot V_{\text{пов}}) + (\rho_{\text{г}} \cdot V)$$

де:

$\rho_{\text{п}} = P_0 / (R_{\text{п}} \cdot T_0)$  – щільність повітря

$R_{\text{п}} = 281,5 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{град})$  – газова постійна повітря

$$\rho_{\text{п}} = 101000 / (281,5 \cdot 293) = 1,22 \text{ кг/м}^3$$

$\rho_{\text{г}} = [\varphi_{\text{C}_2\text{H}_6} \cdot (\mu_{\text{C}_2\text{H}_6} / 22,4)] + [\varphi_{\text{C}_3\text{H}_8} \cdot (\mu_{\text{C}_3\text{H}_8} / 22,4)] + [\varphi_{\text{CO}_2} \cdot (\mu_{\text{CO}_2} / 22,4)] + [\varphi_{\text{N}_2} \cdot (\mu_{\text{N}_2} / 22,4)] + [\varphi_{\text{C}_3\text{H}_8} \cdot (\mu_{\text{C}_3\text{H}_8} / 22,4)]$  – щільність біогазу

$$\begin{aligned} \rho_{\text{г}} &= [0,002 \cdot (30/22,4)] + [0,977 \cdot (16/22,4)] + [0,005 \cdot (44/22,4)] + [0,013 \cdot (14/22,4)] + [0,003 \cdot (44/22,4)] = \\ &= 0,724 \text{ кг/м}^3 \end{aligned}$$

$$G_{\text{ГПС}} = (1,22 \cdot 537) + (1,122 \cdot 176,9) = 911 \text{ кг/год}$$

Швидкість повітря в змішувальній камері

знаходимо з рівняння:

$$V_{\text{пов}} = 3600 \cdot (\pi \cdot d^2 / 4) \cdot V$$

звідки:

$$V = (4 \cdot V_{\text{пов}}) / (\pi \cdot d^2 \cdot 3600)$$

$$V = (4 \cdot 537) / (3,14 \cdot 0,09^2 \cdot 3600) = 23,45 \text{ м/с}$$

де:

$d = 0,09 \text{ м}$  – діаметр змішувальної камери

Розрідження в змішувальній камері

$$\Delta P = (\rho_{\text{п}} \cdot V^2) / 2$$

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 131.61.23.03 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                          | 53   |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

$$\Delta P = (1,22 \cdot 23,45^2) / 2 = 335 \text{ н/м}^2 = 33,5 \text{ кг/м}^2$$

Тиск повітря в змішувальній камері

$$P_{\pi} = P_0 - \Delta P$$

$$P_{\pi} = 101000 - 1026 = 97336 \text{ Па}$$

Швидкість надходження природного газу до змішувальної камери

$$C_r = \sqrt{2 \cdot (k/k-1) \cdot R \cdot T_0 \cdot [1 - (P_{\pi}/P_r)^{(k-1)/k}]}$$

$$C_r = \sqrt{2 \cdot (1,3/1,3-1) \cdot 303 \cdot 298 \cdot [1 - (97336/101000)^{(1,3-1)/1,3}]} = 81,5 \text{ м/с}$$

Діаметр трубопроводу для подачі газу в змішувальну камеру

знаходимо з рівняння:

$$V = 3600 \cdot (\pi \cdot d^2 / 4) \cdot C_r$$

звідки:

$$d = \sqrt{(4 \cdot V) / (\pi \cdot C_r \cdot 3600)}$$

$$d = \sqrt{(4 \cdot 228,5) / (3,14 \cdot 81,5 \cdot 3600)} = 0,03 \text{ м} = 30 \text{ мм}$$

Ширина кільцевої щілини в змішувальній камері для підведення

природного газу

знаходимо з рівняння:

$$V = 3600 \cdot \pi \cdot d \cdot \delta \cdot C_r$$

звідки:

$$\delta = V / (3600 \cdot \pi \cdot d \cdot C_r)$$

$$\delta = 228,5 / (3600 \cdot 3,14 \cdot 0,03 \cdot 81,5) = 0,008 \text{ м} = 8 \text{ мм}$$

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 131.61.23.03 ПЗ | Лист |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          | 54   |

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

4.1 Охорона праці та техніка безпеки при роботі в машинному відділенні

1. Роботи в машинному відділенні (далі - МВ) виконуються обслуговуючим персоналом судна під наглядом відповідального офіцера судна.

2. Обслуговуючий персонал судна повинен бути забезпечений засобами індивідуального захисту.

3. На дверях МВ повинні бути прикріплені відповідні знаки безпеки, що свідчать про обов'язкове використання персоналом ЗІЗ.

4. Забороняється:

- перебування сторонніх осіб в МА без супроводу персоналу судна та дозволу вахтового механіка;

- зберігати легкозаймисті речовини;

- знімати засоби захисту органів слуху;

- виконувати роботи без засобів особистого захисту;

- особовому складу судна самотійно (без відома вахтового офіцера або головного механіка) запускати (зупиняти) механізми, що обслуговують суднову енергетичну установку (далі - СЕУ);

- зберігати (розміщувати) сторонні предмети та обладнання;

- робота на несправному обладнанні;

- експлуатувати механізми з несправними пристроями управління, захисту та сигналізації;

- проводити ремонтні роботи на існуючих механізмах;

- затягувати різьбові з'єднання на машинах, що працюють під тиском, посудинах і трубопроводах;

- демонтовані деталі залиште в підвішеному стані.

5. Технічне обслуговування і ремонт електростанцій проводяться наказом відповідального офіцера командного складу і з відома старшого (головного) механіка.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 131.61.23.03 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                          | 55   |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

6. Рухомі частини машин і устаткування електростанцій повинні бути огорожені. Забороняється знімати захисні кожухи з рухомих частин (маховиків, муфт, фланцевих з'єднань, валів) під час роботи огорожувальних механізмів.
7. Постійні робочі місця, розташовані на висоті 500 мм і вище, повинні бути обладнані огорожею.
8. З метою підвищення рівня освітленості на тимчасових робочих місцях необхідно застосовувати додаткові (переносні) лампи.
9. МСО повинні бути обладнані припливно-витяжною вентиляцією.
10. Двері, лази, люки, що використовуються для входу в (з) МВ, повинні бути справними.
11. Проходи до запасних виходів, аварійного та протипожежного обладнання завжди повинні бути вільними.
12. Усі запасні частини, деталі, інструмент, матеріали повинні зберігатися на своїх штатних місцях і закріплюватися.
13. Драбини, плити і настили повинні бути чистими і сухими. Розлиті нафтопродукти необхідно негайно прибрати.
14. Інструкції з їх безпечної експлуатації повинні бути вивішені на механізмах електростанцій.
15. Механізми СЕУ (дизельні двигуни, котли, турбіни) повинні експлуатуватися у повній відповідності з інструкцією заводу-виробника та Правилами.
16. У ЦП повинні бути схеми баластних, дренажних і паливних систем з пронумерованими вентилями (вентилями, клінкетами). У стандартних місцях вентиля повинні мати шильдики, які чітко вказують на призначення клапана (клінкету).
17. Газовідвідні канали дизельних двигунів, котлів, турбін, установок інертних газів повинні бути герметизовані з метою запобігання проникненню відпрацьованих газів у МВ та судові простори.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 131.61.23.03 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                          | 56   |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

18. Для підймання важких предметів, відкривання (закриття) маховиків персонал повинен користуватися засобами малої механізації: важелями, талями, пневматичними ключами.

19. Під час відкручування гайок ключ, що обертається ударами кувалди, повинен підтримуватися тросом або підтримуватися таким чином, щоб руки і тіло опорного не могли бути зачеплені кувалдою, що вислизнула з гайкового ключа.

20. У процесі підйому предметів за допомогою талей, лебідок, кранів необхідно стежити, щоб маса вантажу, що піднімається, не перевищувала вантажопідйомності механізму.

21. Керівник робіт повинен здійснювати нагляд за оглядом, випробуванням і ремонтом вантажопідйомного механізму і вантажозахоплювальних пристроїв. При цьому на механізмі і вантажозахоплюючому пристрої повинні бути вказані: реєстраційний номер, максимальна вантажопідйомність, дата огляду, кольори безпеки.

22. Перед підйомом вантажу члени екіпажу судна повинні перевірити справність вантажопідймальних пристроїв, щоб різьблення на рим-болтах було чистим. Забороняється застосовувати вантажозахоплювальні пристрої, які не мають бирок із зазначенням допустимої вантажопідйомності, дати випробування, реєстраційного номера.

23. Підймання (опускання) важких і громіздких деталей повинно проводитися під наглядом відповідальної особи відповідно до вимог технологічної карти (інструкції) щодо безпечного виконання робіт.

24. Судна зі знаками автоматики А1, А2 і А3 на входах і на видних місцях в ЦМЕ повинні бути позначені попереджувальними знаками: "Увага! Механізми запускаються автоматично!"»

25. Газовідвідні канали, паропроводи, трубопроводи гарячої води, палива та холодильні машини повинні бути теплоізовані. Пошкоджені ділянки теплоізоляції підлягають відновленню.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 131.61.23.03 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                          | 57   |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

26. Усі машини, трубопроводи, огороження та огороження в МСО повинні мати фундамент і бути закріпленими, щоб уникнути підвищених вібрацій і поломок. Особовий склад МСО повинен постійно стежити за справністю кріплення механізмів і систем СЕУ, перерахованих вище.

27. Персонал СІЕ повинен вжити заходів щодо усунення витоків палива, відпрацьованого масла і води з трюму і палуби СІЕ за допомогою трюмного сепаратора в резервуар (цистерну) для подальшої передачі в колектор в порту.

28. Дренажні стоки в трубопроводах і фільтрах повинні очищатися і утримуватися в чистоті.

29. Перед початком демонтажу трубопроводів, засувов, клінкетів, засувов, відкриття горловин, а також ремонту на обладнанні, яке перебувала під тиском, повинні бути вжиті заходи щодо виключення подачі робочого агента (води, пари, холодоагенту, повітря) до місця проведення робіт. При цьому необхідно:

закрити запірну арматуру на системі;

Встановіть на запірну арматуру заборонні знаки: «Не відкривати! Люди працюють!»;

встановити заглушки для запобігання несанкціонованому відкриттю;

Щоб «прокачати» тиск робочого агента, відкривають вентилі (крани) або послаблюють болти на фланці з протилежного від робочого майданчика боку. При цьому забороняється знімати гайки з різьблення, так як можуть бути «викиди» пари (конденсату), що скупчився в трубопроводі;

Переконайтеся, що тиск знижено до атмосферного, а трубопровід повністю осушений.

30. Після закінчення ремонту керівник повинен оглянути ділянку трубопроводу перед складанням системи трубопроводів і переконатися у відсутності всередині сторонніх предметів (гайок, інструментів, ганчір'я) та відсутності пошкоджень фланців.

31. Горловини паливно-масляних цистерн можуть відкриватися тільки з дозволу головного інженера.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 131.61.23.03 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                          | 58   |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

Горловини резервуарів для води можна відкривати тільки з дозволу головного офіцера.

32. Роботи всередині паливних, масляних і водяних резервуарів (цистерн) дозволяється проводити тільки після вжиття комплексу заходів щодо вивітрювання, видалення залишків робочого агента в повній відповідності з вимогами технологічної карти виконання суднових робіт, цільового інструктажу та видачі наряду-допуску.

33. Горловини резервуарів (резервуарів) можуть бути закриті тільки після огляду резервуара (резервуара) відповідальною особою, призначеною роботодавцем. Шийки повинні бути затягнуті на всіх штатних гайках (болтах).

34. Після використання протиральний матеріал (ганчір'я) слід зберігати в металевій тарі і, після наповнення, спалювати в судновому сміттєспалювальному заводі (або викидати на берег).

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 131.61.23.03 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                          | 59   |
| 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  $\text{CO}_2$ ) т неповного згоряння (уксид вуглецю  $\text{CO}$ , неспалені вуглеводні  $\text{C}_n\text{H}_m$ , в тому числі поліциклічні ароматичні, сажа або тверді частинки);

б) оксиди азоту  $\text{NO}_x$ , механізм створення яких безпосередньо не пов'язаний (або пов'язаний дуже мало) з процесом згоряння палива; викиди  $\text{NO}_x$ , що обумовлені, головним чином, реакціями окислення атмосферного азоту киснем при високих температурах;

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

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 ( $\text{COHb}$ ), 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 концентації його в атмосфері і від тривалості впливу. Вміст  $\text{CO}$  у повітрі 0,01% з тривалістю дії більше однієї години викликає головний біль, погіршення реакції та зменшення працездатності. Більші концентрації  $\text{CO}$  спричиняють більш важкі наслідки, аж до втрати свідомості. Довготривале вдихання  $\text{CO}$  призводить до серцево-судинних захворювань, появи атеросклерозу, враження центальної нервової системи, виникнення інфаркту міокарда, розвитку легеневих захворювань. Особливо впливає оксид вуглецю на людей, що страждають коронарною недостатністю.

Високі концентрації  $\text{CO}$  призводять до втрати свідомості, навіть до смерті. Дослідження показали, що перебування в атмосфері із вмістом  $\text{CO}$  лише 0,001-0,0015 % ( $10\text{-}15 \text{ млн}^{-1}$ ) протягом 8 годин спричиняє у окремих

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 131.61.23.03 ПЗ | Лист |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          | 60   |

людей погіршення здатності до сприйняття часу. Процес утворення карбоксигемоглобіну є зворотнім. За зупинки вдихання СО його концентрація на кожні 3-4 години зменшується удвічі. Дослідження щодо вплив СО, на рослинний світ довели, що за концентрації СО нижче 0,01 % такого вплив не відбувається навіть у випадку витримки рослин в цій атмосфері протягом 3 тижнів, але в деяких дослідженнях погіршувалось утворення пилку.

Особливу групу вуглеводнів складають канцерогени – речовини, що спричиняють ракові захворювання. Серед них особливою канцерогенною активністю відрізняється бенз(б)пірен ( $C_{20}H_{12}$ ), що має вигляд кристалів жовтого кольору. Він добре розчиняється в оливах, жирах, сиворотці людської крові, в місцях безпосереднього контакту кристалів з тканинами органів спричиняє виникнення злоякісних пухлин, має властивість накопичуватися в організмі людини і, досягнувши критичних концентрацій, спричиняє ракове захворювання.

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

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

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

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 131.61.23.03 ПЗ | Лист |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          | 61   |

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

Оксиди азоту  $\text{NO}$  і  $\text{NO}_2$  отруйні для організму людини, мають сильну подразнюючу дію, особливо на слизові оболонки, зокрема очей. Здатні глибоко проникати в легено, викликаючи пошкодження їх тканин. За високої концентрації можливі виникнення хронічних респіраторних захворювань.

Двооксид азоту в концентрації 4-6 мг/м викликає порушення життєдіяльності рослин, пригнічуючи їх зростання. Тривалий вплив  $\text{NO}_2$  призводить до хлорозу рослин (передчасного старіння).

Двооксид азоту є вихідним продуктом утворення озону під впливом ультрафіолетового випромінювання. А надмірне накопичення озону у приземному просторі дуже шкідливе. Крім того,  $\text{NO}_2$  має вирішальну роль в утворенні фотооксидантів. Розчин  $\text{NO}_2$  у воді є складовою "кислотних дощів".

Сірчистий газ  $\text{SO}_2$  – основний токсичний продукт сполук сірки, що надходить у атмосферу з відпрацьованими газами. У вільному стані  $\text{SO}$  – це газ без кольору з різким запахом, кислий на смак, отруйний, подразнює слизові оболонки очей і дихальних шляхів. Легко розчиняється у воді, утворюючи сірчисту кислоту  $\text{H}_2\text{SO}_3$

Висока концентрація  $\text{SO}_2$  в атмосфері викликає гострий бронхіт, задуху, можливу смерть внаслідок рефлексорного спазму горла.

Сполуки сірки  $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_3$  і  $\text{H}_2\text{SO}_4$  наносять значний збиток лісовому і сільському господарствам – вони закислюють ґрунт, підвищують вразливість рослин захворюваннями. Окрім того, ці речовини є основними складовими класичного смогу і складовою "кислотних дощів".

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

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 131.61.23.03 ПЗ | Лист |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          | 62   |

## ВИСНОВКИ

Кваліфікаційна магістерська робота на тему "Підвищення експлуатаційних показників стаціонарного газового двигуна потужністю 620 кВт з розробкою системи подачі газоподібного палива (біогазу)" містить в собі необхідні конструкторські креслення, розрахункові і пояснювальні матеріали по газовому двигуну 6ГЧН 25/34 і детальну розробку конструкції чавунного колінчастого валу з противагами на його щоках. Кваліфікаційна робота оформлена у вигляді пояснювальної записки та графічної конструкторської частини проекту загальною кількістю 5 листів формату А1.

Конструкція елементів системи, а також план розміщення устаткування в електростанції показані на листах графічної частини проекту, а в пояснювальній записці виконаний детальний опис обладнання електростанції з наведенням їх параметрів.

На початку дипломного проекту по заданим вихідним параметрам двигуна ( $N = 620 \text{ кВт}$ ,  $n = 750 \text{ хв}^{-1}$ ) визначений двигун-прототип 6ГЧН 25/34 і проведені розрахунки параметрів робочого циклу. По результатам розрахунків побудовані індикаторна діаграма дійсного робочого циклу і діаграми сил, що діють на деталі КШМ, величини яких знайдені в динамічному розрахунку двигуна.

Ці діаграми побудовані на листі графічної частини проекту.

З теплового розрахунку було взято необхідні вихідні дані для розрахунку змішувальної камери.

Розробка технологічного процесу виконана для складання заслінки.

Зважаючи на те, що розроблений газовий двигун є джерелом шуму і вібрації, частину дипломного проекту відведено для розробки заходів по зменшенню негативного впливу його роботи на обслуговуючий персонал і на навколишнє середовище. На завершення дипломного проекту виконано економічне обґрунтування газового двигуна по відношенню до базового.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 131.61.23.03 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                          | 63   |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

## ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ

1. Фомин Ю.Я., Горбань А.И., Добровольский В.В., Лукин А.И. и др., Судовые двигатели внутреннего сгорания: Учебник /: Судостроение, 1989.- 344с.,ил.
2. Добровольский В.В., Лукин А.И. Методические указания по конструированию судовых ДВС: Учебное пособие. – Николаев: НКИ. 1986.- 38с.
3. Добровольский В.В., Лукин А.И. Конструктивные схемы судовых ДВС и их элементов: Учебное пособие. – Николаев: НКИ. 1983.- 78с.,ил.
4. Лукин А.И, Добровольский В.В., Конструктивные схемы систем судовых ДВС : Учебное пособие. – Николаев: НКИ. 1983.- 56с., ил.
5. Марченко А.П., Рязанцев М.К., Шеховцов А.Ф. Двигуни внутрішнього згоряння: Серія підручників у 6 томах. Т.2. Доводка конструкцій форсованих двигунів наземних транспортних машин. Харків: Прапор, 2004.-288с.
6. Абрамчук Ф.І, Рязанцев М.К., Шеховцов А.Ф. Двигуни внутрішнього згоряння: Серія підручників у 6 томах. Т.6. Надійність ДВЗ. Харків: ХНАДУ - 2004.
7. Суднові двигуни внутрішнього згоряння: Підручник/ В.С. Наливайко, Б.Г. Тимошевський, С.Г. Ткаченко, - Миколаїв, 2015. – 662с.
8. Методичні вказівки до практичної роботи «Розрахунок та побудова індикаторної діаграми». Іодловський В.І., Доценко С.М. Первомайськ, ППІ, 2000р.
- 9.Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни «Конструкція та динаміка двигунів внутрішнього згоряння». Коваленко І.М., Доценко С.М. Первомайськ, ППІ, 2005.
10. Горбов В.М. Энергетичні палива: Навчальний посібник. Миколаїв: УДМТУ, 2003. - 328 с.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 131.61.23.03 ПЗ | Лист |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          | 64   |