

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

Кафедра «Енергетичне машинобудування»

«Допущений до захисту»

Завідувач кафедри

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»

на тему: Розробка системи подачі біогазу для стаціонарного газового двигуна  
потужністю 350 кВт.

Виконав:

студент групи 41-ЕМ-21

Кучура М. В. Кучура М. В.  
(підпис)

Керівник роботи:

к.т.н. кафедри «ІМ та ТМ» НУК

(посада, науковий ступень, вчене звання)

Галинкін Ю. М. Галинкін Ю. М.  
(підпис)

м. Первомайськ, 2025 рік

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

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

**«ЗАТВЕРДЖУЮ»**

Гарант освітньої програми

(підпис)

«    »    2025 р.

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

Студенту Кучура Максим В'ячеславович

Тема: «Розробка системи подачі біогазу для стаціонарного газового двигуна потужністю 350 кВт»

Керівник роботи Галинкін Ю. М.

Затверджено розпорядженням ПННІ НУК від 10.02.2025 року №.

2. Термін подання студентом роботи до розгляду на кафедру 12.05.2025 року.
  3. Вихідні данні по роботі: Двигун- прототип 6ГЧН25/34.
  4. Перелік питань, що належать до розробки (найменування розділів).
  2. Термін подання студентом роботи до розгляду на кафедру 12.05.2025 року.
  3. Вихідні данні по роботі: Двигун-прототип 6ГЧН25/34 потужністю 350 кВт.
  4. Перелік питань, що належать до розробки (найменування розділів).
- Вступ. 1. Загальний розділ. 2. Конструкторський розділ. 3. Розробка системи газопостачання. 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. Змішувач, СК, А1. 3. Заслінка, СК, А1. 4. Схема регулювання газоповітряної суміші, А1 5. Діаграми індикаторна та сил, що діють на КШМ.

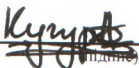
6. Консультанти роботи

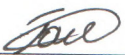
| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата   |                  |
|--------|-------------------------------------------|----------------|------------------|
|        |                                           | Завдання видав | Завдання прийняв |
|        |                 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

7. Дата видачі завдання «10» лютого 2025 року

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| Номер | Назва етапів роботи                                                               | Терміни виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|----------|
| 1     | Вступ.                                                                            | 24.02.2025                      |          |
| 2     | Загальний розділ.                                                                 | 10.03.2025                      |          |
| 3     | Конструкторський розділ.                                                          | 31.03.2025                      |          |
| 4     | Розробка системи подачі газу                                                      | 14.04.2025                      |          |
| 5     | Охорона праці та навколишнього середовища.                                        | 28.04.2025                      |          |
| 6     | Загальні висновки по кваліфікаційній роботі.<br>Оформлення кваліфікаційної роботи | 12.05.2025                      |          |

Студент  Кучура М. В.

Керівник роботи  Галинкін Ю. М.  
(підпис)

## Анотація

Пояснювальна записка до кваліфікаційної магістерської роботи на тему «Розробка системи подачі біогазу для стаціонарного газового двигуна потужністю 350 кВт» складається із Вступу, чотирьох розділів та Додатків - 5 листів креслень 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, приведені обґрунтування розробленої конструкції системи ГПС її розрахунок. 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 креслення заслінки та змішувача, специфікації двигуна, заслінки та змішувача.

**Ключові слова:** змішувач, біогаз, газове паливо, охорона праці, захист навколишнього середовища.

## Abstract

The explanatory note to the qualification master's thesis on the topic "Development of a biogas supply system for a stationary gas engine with a capacity of 350 kW" consists of an Introduction, four sections and Appendices - 5 sheets of A1 format drawings.

The explanatory note describes the design of the prototype engine 6GCHN25/34 and the object on which it is installed, calculates the work process with the definition of its main parameters, provides a justification for the developed design of the GPS system and its calculation. Also, measures for labor protection and environmental protection are developed. In conclusion, general conclusions are drawn on the qualification work.

The appendices to the explanatory note contain drawings of the 6GCHN25/34 engine, assembly drawings of the damper and mixer, specifications of the engine, damper and mixer.

**Keywords:** mixer, biogas, gas fuel, labor protection, environmental protection.

# 3MICT

|                                                                              |           |
|------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>ВСТУП.....</b>                                                            | <b>5</b>  |
| <b>1. ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ</b>                                                   |           |
| 1.1 Технічна інформація про об’єкт використання двигуна... ..                | 7         |
| 1.2 Опис конструкції двигуна– прототипу.....                                 | 8         |
| <b>2. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ</b>                                            |           |
| 2.1 Вибір основних параметрів для розрахунку робочого процесу.....           | 14        |
| 2.2 Розрахунок робочого процесу газового двигуна.....                        | 17        |
| 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. РОЗРОБКА СИСТЕМИ ГАЗОПОСТАЧАННЯ</b>                                    |           |
| 3.1 Описання системи газопостачання.....                                     | 36        |
| 3.2 Описання системи подачі паливного газу .....                             | 41        |
| 3.3 Розрахунок системи газоповітряної суміші.....                            | 45        |
| <b>4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА</b>                   |           |
| 4.1 Охорона праці та техніка безпеки при роботі в машинному відділенні.....  | 52        |
| 4.2 Захист навколишнього середовища .....                                    | 57        |
| <b>ВИСНОВКИ.....</b>                                                         | <b>59</b> |
| <b>ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ.....</b>                                               | <b>60</b> |

|           |            |             |        |      |                          |  |  |          |      |        |    |  |
|-----------|------------|-------------|--------|------|--------------------------|--|--|----------|------|--------|----|--|
|           |            |             |        |      | ПІНІ НУК 142.41.25.04 ПЗ |  |  |          |      |        |    |  |
| Зм.       | Арк..      | № документа | Підпис | Дата |                          |  |  |          |      |        |    |  |
| Розробив  | Кучура     |             |        |      | Пояснювальна записка     |  |  | Літера   | Лист | Листів |    |  |
| Перевірів | Галинкін   |             |        |      |                          |  |  | н        |      | 3      | 73 |  |
| Ркцензент | Лисих      |             |        |      |                          |  |  | 41-ЕМ-21 |      |        |    |  |
| Н. контр  | Галинкін   |             |        |      |                          |  |  |          |      |        |    |  |
| Затвердив | Нестеренко |             |        |      |                          |  |  |          |      |        |    |  |

## ДОДАТКИ

|                  |                                                            |    |
|------------------|------------------------------------------------------------|----|
| <b>ДОДАТОК 1</b> | Газовий двигун 6ГЧН25/34 (Поперечний розріз), СК, А1... .. | 69 |
| <b>ДОДАТОК 2</b> | Змішувач, СК, А1 .....                                     | 70 |
| <b>ДОДАТОК 3</b> | Заслінка, СК, А1.....                                      | 71 |
| <b>ДОДАТОК 4</b> | Схема регулювання газоповітряної суміші.....               | 72 |
| <b>ДОДАТОК 5</b> | Діаграма індикаторна та сил, що діють на КШМ.....          | 73 |

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 142.41.25.04 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.

Пропонується варіант системи газопостачання для форкамерного двигуна типу 6ГЧН25/34 при роботі на біогазі.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 142.41.25.04 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                          | 5    |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

## 1. ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

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

Стаціонарна автоматизована електростанція потужністю 315 кВт на базі двигун–генератора ДвГА-315, розміщена в спеціальному приміщенні, призначена для використання як основне та резервне джерело електропостачання трифазним змінним струмом для промислових і комунальних об'єктів. Режим роботи – автономний або паралельний з електричною мережею необмеженої потужності.

Електростанція забезпечує тривалу надійну роботу за наступних умов:

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

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

Загальний пристрій електростанції.

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

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

Над щитовим приміщенням, на другому поверсі розташований, звукоізований пост керування, що має гарний огляд машинного приміщення. Він обладнаний пультом керування та приборними

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 142.41.25.04 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                          | 6    |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |



панелями, на яких імітовані схеми систем обслуговуючих установку, з точками від яких потрапляє інформація про стан установки (температура та тиск робочих рідин, повітря, також контролюється частота обертання колінчатого валу).

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

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

Вентиляція двигуна складається з легкоз'ємного зонта, від якого повітря потрапляє до витяжного трубопроводу. Приміщення також вентилується приточною вентиляцією.

Машинне приміщення обслуговується 15-тонним мостовим краном, що має висячу колодку з кнопками керування.

Також в машинному приміщенні встановлена автоматизована протипожежна система.

## 1.2 Опис конструкції двигуна-прототипу

Автоматизований двигун-генератор ДвГА-500 призначений для використання на електростанціях в якості основного або допоміжного джерела електроенергії змінного трифазного струму в режимі автономної або паралельної роботи між собою чи з промисловою мережею.

Двигун-генератор складається з газового двигуна 6ГЧН25/34 і синхронного генератора перемінного струму типу СГ2-85/45-12, змонтованих на сумісній рамі. Рама дизель-генератора зварної конструкції.

Номінальна потужність двигун-генератора 500 кВт, номінальна частота обертання  $600 \text{ хв}^{-1}$ , питома витрата газового палива  $0,28 \text{ м}^3/\text{кВт}\cdot\text{г}$ .

Кришка циліндра – індивідуальна для кожного циліндра, відлита з високопробного чавуна, з'єднується з блоком чотирма силовими

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 142.41.25.04 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                          | 7    |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

шпильками. Втулка циліндра відлита з чавуну, вставна. В нижній частині порожнина охолодження між блоком та втулкою ущільнюється двома резиновими кільцями круглого перетину.

Кількість клапанів на один циліндр дорівнює 2, з каналами розташованими в різні сторони.

Розміщення свічки запалювання в кришці циліндра – центральне з ущільненням у вогневому днищі.

Поршень – суцільний, чавунний, охолоджуємий маслом.

Шатун – виготовлений з прямим роз'ємом нижньої головки. Стержень шатуна і кришка нижньої головки виготовлені зі сталі.

В стержні шатуна є центральний отвір для підвода мастила до підшипника верхньої головки шатуна та для охолодження поршня.

Колінчастий вал – виконується цільним зі сталі. На ведучому кінці вала розміщена шестерня приводу розподільчого валу. На вільному кінці валу встановлюється шестерня приводу масляного насоса, водяних насосів.

Основним видом палива що, застосовується в даному двигуні є природний газ.

В даній роботі пропонується:

- розробити систему подачі біогазу.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 142.41.25.04 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                          | 8    |
| 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 142.41.25.04 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                          | 9    |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

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 142.41.25.04 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                          | 10   |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

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

м) Коефіцієнт закруглення індикаторної діаграми.

Коефіцієнт закруглення індикаторної діаграми рекомендується для карбюраторних і газових двигунів приймати  $\phi = 0,93 \dots 0,97$ . [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 142.41.25.04 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                          | 11   |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

## 2.2 Розрахунок робочого процесу газового двигуна.

### 1. Умова завдання:

|                                      |                 |      |                  |
|--------------------------------------|-----------------|------|------------------|
| Ефективна потужність                 | $P_e =$         | 350  | кВт              |
| Частота обертання колінчастого валу. | $n =$           | 500  | $\text{хв}^{-1}$ |
| 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                                           | $p_b =$      | 175   | кПа                |
| Тиск навколишнього середовища                          | $p_a =$      | 101,3 | кПа                |
| Температура навколишнього середовища                   | $T_a =$      | 293   | К                  |
| Показник політропи стиску для відцентрового компресора | $n_k =$      | 1,6   |                    |
| Підігрів свіжого заряду                                | $\Delta T =$ | 5     | К                  |
| Тиск залишкових газів                                  | $p_r =$      | 200   | кПа                |
| Температура залишкових газів                           | $T_r =$      | 750   | К                  |
| Ступінь підвищення тиску                               | $\lambda =$  | 2,5   |                    |
| Середнє значення показника політропи:                  |              |       |                    |
| стиску                                                 | $n_1 =$      | 1,32  |                    |
| розширення                                             | $n_2 =$      | 1,27  |                    |
| Коефіцієнт використання теплоти в точці "Z"            | $\xi_z =$    | 0,85  |                    |
| Коефіцієнт повноти індикаторної діаграми               | $\xi =$      | 0,9   |                    |
| Нижча теплота згорання біогазу                         | $Q_H =$      | 21350 | кДж/м <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.

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



$$T_B = 359,7 \text{ K}$$

Температура повітря після охолоджувача.

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

$$\text{число з інтервалу} = 30$$

$$\Delta T_{\text{int}} = 329,7 \text{ K}$$

Температура газоповітряної суміші.

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

$$T_{\text{см}} = 320,9 \text{ K}$$

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

Коефіцієнт залишкових газів.

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

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

$$P_d = 166,3 \text{ кПа}$$

$$\gamma_r = 0,077$$

Коефіцієнт наповнення.

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

$$\varphi_n = 0,91$$

Температура газоповітряної суміші на початку стиску.

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

$$T_d = 356 \text{ K}$$

## 5. Параметри процесу стиску.

Тиск в кінці стиску.

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

$$P_c = 2587,3 \text{ кПа}$$

Температура в кінці стиску.

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

$$T_c = 692,9 \text{ K}$$

$$t_c = 419,9^\circ \text{C}$$

## 6. Параметри процесу згоряння.

Дійсний коефіцієнт молекулярної зміни.

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

$$\beta = 1,1294$$

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:

$$a = 20,14$$

$$b = 512,37$$

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:

$$a = 20,14$$

$$b = 256,18$$

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:

$$A = 302,231$$

$$B = 32,930$$

$$C = 52759,1$$

Звідки:

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

$$t_z = 1417,7 \text{ C} \quad T_z = 1690,7 \text{ K}$$

Максимальний тиск згоряння.

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

$$p_{\max} = 7130,0 \text{ кПа}$$

Ступінь підвищення тиску

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

$$\lambda = 2,76$$

$$\Delta \lambda = 10,23 \%$$

$\Delta \lambda$  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.

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

$$p_{\delta} = 508,4 \text{ кПа}$$

Температура в кінці розширення.

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

$$T_{\delta} = 964,3 \text{ К}$$

Середня температура випускних газів.

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

$$T_{\text{ср.г.}} = 783,7 \text{ К}$$

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

Температура залишкових газів.

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

$$T_r = 706,6 \text{ К}$$

$$\frac{|T_{r^3} - T_r|}{T_{r^3}} \times 100 \% = 5,78 \%$$

Перевірка:

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

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

$$P_{mi} = 953,51 \text{ кПа}$$

Індикаторний ККД.

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

$$\eta_i = 0,38$$

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.

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

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

$$V_{п.ср.} = 5,66667 \text{ м/с}$$

$$P_M = 108,4 \text{ кПа}$$

Середній ефективний тиск.

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

$$P_{me} = 845,10 \text{ кПа}$$

Механічний К.К.Д.

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

$$\eta_M = 0,89$$

Ефективний К.К.Д.

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

$$\eta_e = 0,334$$

Питома ефективна витрата газу.

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

$$b_e = 0,505 \text{ м}^3/(\text{кВт} \cdot \text{год})$$

Годинна витрата газу.

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

$$B = 176,9 \text{ м}^3 / \text{год}$$

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.

$$V_{st} = 99,40 \text{ Л}$$

$$V_s = \frac{V_{st}}{i}, \text{ Л}$$

$$V_s = 16,57 \text{ Л}$$

Діаметр циліндра.

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

$$m = \frac{S_{пп}}{d_{пп}}$$

$$d_{пп} = 0,25 \text{ м}$$

$$m = 1,36$$

$$d = 249,4 \text{ мм}$$

Хід поршня.

$$S = m \times d, \text{ мм}$$

$$S = 339,2 \text{ мм}$$

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.

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

$$P_{ep} = 352,4 \text{ кВт}$$

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

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

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

$$P_{ep} = 351,2 \text{ кВт}$$

$$\Delta P_e = 0,69 \%$$

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



### 2.3. Розрахунок та побудова індикаторної діаграми

Розрахунок теоретичної індикаторної діаграми робочого циклу газового двигуна 6ГЧН25/34 виконується в табличній формі по таким вихідним даним.

Таблиця 2.2. Вихідні дані для побудови індикаторної діаграми

| Найменування параметру             | Позначення | Розмірність | Величина |
|------------------------------------|------------|-------------|----------|
| 1. Середній індикаторний тиск      | $p_{mi}$   | МПа         | 0,950    |
| 2. Тиск в кінці стиску             | $p_c$      | МПа         | 2,6      |
| 3. Показник політропи стиску       | $n_1$      | -           | 1,32     |
| 4. Ступінь стиску                  | $\epsilon$ | -           | 8        |
| 5. Максимальний тиск згоряння      | $p_{max}$  | МПа         | 7,1      |
| 6. Показник політропи розширення   | $n_2$      | -           | 1,23     |
| 7. Ступінь попереднього розширення | $\rho$     | -           | 1        |
| 8. Масштаб вісі тиску              | $m_p$      | МПа/мм      | 0,05     |

Форму лінії стиску теоретичної індикаторної діаграми знаходимо по формулі

$$p_{ст} = p_c / (V/V_c)^{n_1}, \text{ МПа}$$

де  $p_c$  – тиск стиску в циліндрі двигуна, МПа

Форму лінії розширення знаходимо по формулі

$$p_{роз} = p_{max} \cdot \rho^{n_2} / (V/V_c)^{n_2} = p_{max} / (V/V_c)^{n_2}, \text{ МПа}$$

Результати розрахунків по формулам (2.1) і (2.2) приведені в таблиці 2.3

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 142.41.25.04 ПЗ | Лист |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          | 22   |

Таблиця 2.3 Координати для побудови кривих стиску і розширення

| $V/V_c$ | $p_{ст}, МПа$ | $p_{ст}, мм$ | $p_{роз}, МПа$ | $p_{роз}, мм$ |
|---------|---------------|--------------|----------------|---------------|
| 1       | 2,60          | 52,0         | 7,13           | 142,6         |
| 1,25    | 2,52          | 50,4         | 6,32           | 126,4         |
| 1,5     | 2,44          | 48,8         | 5,81           | 116,3         |
| 2,0     | 1,66          | 33,1         | 4,05           | 80,9          |
| 2,5     | 1,22          | 24,5         | 3,05           | 61,1          |
| 3,0     | 0,96          | 19,2         | 2,43           | 48,5          |
| 4,0     | 0,65          | 13,0         | 1,69           | 33,8          |
| 5       | 0,48          | 9,6          | 1,28           | 25,5          |
| 7,0     | 0,31          | 6,1          | 0,83           | 16,7          |
| 8       | 0,22          | 4,3          | 0,61           | 12,2          |

Дійсну індикаторну діаграму будуюмо із врахуванням її характерних точок:  
 $c'$  – точка початку подачі іскри (палива форсункою), яка визначається випередженням запалювання (випередженням впорскування палива).

$f$  - точка початку згоряння, яка визначається кутом затримки згоряння  $\Delta\phi_1 = 10^\circ \text{ПКВ}$ .

$\Delta\phi_2 = 10^\circ \text{ПКВ}$ - кут після ВМТ, де тиск газів максимальний.

$b$ - точка початку відкриття випускного клапана.

$r'$ - точка початку відкриття впускного клапану.

$r''$ - точка закриття випускного клапана.

$d$  - точка закриття впускного клапану.

$c''$ - точка тиску газів в ВМТ в кінці такту стиску.

$z_d$  - точка максимального тиску газів.

Вихідні дані для побудови дійсної індикаторної діаграми

1. Кривошипно-шатунне відношення  $\lambda = R/L = 0,17/0,69 = 0,246$

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 142.41.25.04 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                          | 23   |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

2. Відстань від ВМТ до НМТ на діаграмі АВ = 237,5 мм
3. Кут затримки згоряння  $\Delta\varphi_1 = 10^\circ$  ПКВ
4. Тиск залишкових газів  $p_r = 0,143$  МПа
5. Маштаб тиску  $m_p = 0,05$  МПа/мм
6. Хід поршня  $S = 0,34$  м
7. Тиск в кінці стиску  $p_c = 2,60$  МПа
8. Максимальний тиск  $p_{\max} = 7,13$  МПа

Розрахунок координат характерних точок індикаторної діаграми приведений в таблиці 2.4

Таблиця 2.4 Координати характерних точок індикаторної діаграми

| φ, ПКВ         | Положення точки<br>відносно ВМТ, φ<br>ПКВ | Постійна $X = (1 - \cos\varphi) + 0,25 \cdot \lambda \cdot (1 - \cos 2\varphi)$ | Відстань від ВМТ<br>до точки<br>$X \cdot (AB)/2$ , мм |
|----------------|-------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| с, до ВМТ      | 30                                        | 0,1647                                                                          | 18,5                                                  |
| f, до ВМТ      | 20                                        | 0,0747                                                                          | 8,4                                                   |
| b, після ВМТ   | 130                                       | 1,7147                                                                          | 192,9                                                 |
| r', до ВМТ     | 20                                        | 0,0747                                                                          | 8,4                                                   |
| r'', після ВМТ | 30                                        | 0,1647                                                                          | 18,5                                                  |
| d, до ВМТ      | 150                                       | 1,7147                                                                          | 192,9                                                 |

Ордината точки  $r''$   $p_r/m_p = 0,183/0,05 = 3,66$  мм

Тиск газів у ВМТ  $p_{c'} = 1,2 \cdot p_c = 1,2 \cdot 2,6 = 3,12$  МПа;

$p_{c'}/m_p = 3,12/0,05 = 62,4$  мм.

Максимальний тиск згоряння  $p_{zd} = 0,85 \cdot p_{\max} = 0,85 \cdot 7,13 = 6,24$  МПа

$p_{zd}/m_p = 6,24/0,05 = 124,8$  мм.

Поправка Брікса  $OO_1 = R \cdot \lambda_l/2 = 170 \cdot 0,246/2 = 20,91$  мм

Маштаб переміщення  $m_s = S/AB = 340/237,5 = 1,43$  мм/мм

Поправка Брікса в масштабі переміщення

$OO_1 = OO_1/m_s = 20,91/1,43 = 14,6$  мм.

Дійсна індикаторна діаграма робочого циклу двигуна побудована листі  
Додатку 1. Там же побудована розвернута індикаторна діаграма, яка  
використана для розрахунку сил діючих в КШМ.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 142.41.25.04 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                          | 25   |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

## Розрахунок теплового балансу

Вихідні дані:

|                                                               |               |                     |
|---------------------------------------------------------------|---------------|---------------------|
| ефективна потужність двигуна                                  | $P_e =$       | 352,4 кВт           |
| частота обертання колінвалу                                   | $n =$         | 500 хв-1            |
| діаметр циліндру                                              | $D =$         | 250 мм              |
| хід поршня:                                                   | $S =$         | 340 мм              |
| число циліндрів:                                              | $i =$         | 6                   |
| коефіцієнт тактності:                                         | $Z =$         | 4                   |
| нижча теплота згорання газу:                                  | $Q_H =$       | 21350 кДж/кг        |
| годинна витрата газу:                                         | $B_T =$       | 176,9 $m^3 / год$   |
| Індикаторний к.к.д.:                                          | $\eta_{ii} =$ | 0,38                |
| 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                                   | $T_{ср.г.} =$ | 783,7 К             |
| температура на початку стиску                                 | $T_d =$       | 356,2 К             |
| мольна теплоємність продуктів згорання при постійному об'ємі: | $mC_v =$      | 24,13 кДж/(кмоль*К) |
| мольна теплоємність свіжого заряду при постійному об'ємі:     | $mC_v =$      | 21,89 кДж/(кмоль*К) |
| середній індикаторний тиск:                                   | $P_{mi} =$    | 953,51 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:

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

$$Q_{II} = 1049,3 \text{ кВт}$$

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

Теплота, еквівалентна ефективній роботі двигуна:

$$Q_e = 1000 \cdot P_e$$

$$Q_e = 352,4 \text{ кВт}$$

у відсотковому відношенні

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

$$q = 33,6 \%$$

Перевірка:  $Q'_e = Q_n \cdot \eta_e$

$$Q'_e = 350 \text{ кВт}$$

Вирахуємо похибку

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

$$\Delta = 0,69 \%$$

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:

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

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

$$Q_w = 94,4 \text{ кВт}$$

Теплота, еквівалентна роботі на тертя поршня по гільзі циліндра.

Середній тиск механічних втрат в механізмах двигуна.

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

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

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

$$C_m = 5,66666667 \text{ м/с}$$

$$P_{мд} = 154,866667 \text{ кПа}$$

Середній тиск тертя поршня:

$$P_{ср.т.} = 0,6 \cdot P_{мд}$$

$$P_{ср.т.} = 92,92 \text{ кПа}$$

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.

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

$$V_s = 0,0167 \text{ м}^3$$

$$P_n = 38,8 \text{ кВт}$$

Теплота, еквівалентна роботі тертя поршнів:

$$Q_{T.П.} = P_{П.}$$

$$Q_{T.П.} = 38,8 \text{ кВт}$$

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

$$Q_B = Q_W + Q_{T.П.}$$

$$Q'_B = 133,2 \text{ кВт}$$

тоді витрата охолоджуючої рідини:

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

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

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

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

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

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

$$V_B = 0,0048 \text{ м}^3/\text{с}$$

Потужність, яка використовується на привід водяного насосу.

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

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

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

$$\eta_{\epsilon.н.} = 0,6$$

$$P_{\epsilon.н.} = 0,78 \text{ кВт}$$

$$\text{Тоді } Q_{\epsilon.н.} = 0,78 \text{ кВт}$$

Загальна кількість теплоти, яка відводиться охолоджувальною рідиною.

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

$$Q_{\epsilon} = 134,0 \text{ кВт}$$

що складає у відсотковому відношенні:

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

$$q_{\epsilon} = 12,77 \%$$

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.

$$mC_p'' = 32,44 \text{ кДж/(кмоль} \cdot \text{K)}$$

$$mC_p' = 30,20 \text{ кДж/(кмоль} \cdot \text{K)}$$

$$Q_r = 520,9 \text{ кВт}$$

Що складає у відсотковому відношенні:

$$q_r = Q_r / Q_{\Pi} \cdot 100\%$$

$$q_r = 49,64 \%$$

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

Теплота, яка відводиться маслом, від гарячих деталей двигуна.

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

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

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

$$\Delta_{\text{мд}} = 0,0611$$

тоді

$$Q_{\text{мд}} = 64,1 \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{м1}} = 24,6 \text{ кВт}$$

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

$$\Delta T_M = 8 \text{ К}$$

$$V_M = 0,0024 \text{ м}^3/\text{с}$$

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.



$$P_0 = 400000 \text{ Па}$$

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

$$\eta_m = 0,7$$

$$P_{m.n.} = 1,40 \text{ кВт}$$

тоді  $Q_{H2} = 1000 \cdot P_{MH}$

$$Q_{M2} = 1,4 \text{ кВт}$$

Загальна кількість теплоти складає:

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

$$Q_M = 26,0 \text{ кВт}$$

у відсотковому відношенні

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

$$q_M = 2,48 \%$$

Невраховані теплові втрати

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

$$Q_{H.B.} = 16,0 \text{ кВт}$$

що складає у відсотковому відношенні:

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

$$q_{H.B.} = 1,52 \%$$

Всі отримані дані зведені в таблицю 2.5

Таблиця 2.5 Зведена таблиця теплового балансу.

| Складові теплового балансу                              | кВт    | %    |
|---------------------------------------------------------|--------|------|
| теплота, еквівалентна ефективній роботі                 | 352,4  | 33,6 |
| теплота, яка відводиться охолоджувальною рідиною        | 134,0  | 12,8 |
| теплота, яка виноситься випускними газами               | 520,9  | 49,6 |
| теплота, яка відводиться маслом                         | 26,0   | 2,5  |
| невраховані теплові втрати                              | 16,0   | 1,5  |
| Загальна кількість теплоти, введеної в двигун з паливом | 1049,3 | 100  |

## 2.4 Динамічний розрахунок двигуна 6ГЧН 25/34.

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.

Розглянемо сили, що діють на на деталі КШМ:

Сили тиску газів на поршень

$$F_r = p_c \cdot \pi \cdot D^2 / 4, \text{ Н}$$

де  $p_c$  – тиск газу в циліндрі двигуна в залежності від кута повороту колінчастого валу, Па

$D$  – діаметр поршня, м

- сили інерції мас КШМ, що рухаються зворотно- поступально

$$F_{in} = - m_s \cdot r \cdot \omega^2 \cdot (\cos \varphi + \lambda \cdot \cos 2\varphi), \text{ Н}$$

де  $m_s$  – маса деталей КШМ, що рухаються зворотно- поступально, кг

$r$  – радіус кривошипу, м

$\omega$  - кутова швидкість колінчастого валу, рад/с

$\varphi$  – кут повороту колінчастого валу, град

$\lambda = R / L$  – кривошипно – шатунне відношення.

- Сумарна сила

$$F_d = F_r + F_{in}, \text{ Н}$$

- Нормальна сила, що діє із сторони поршня на втулку циліндру.

$$F_N = F_d \cdot \tan \beta, \text{ Н}$$

де  $\beta$ - кут відхилення шатуна від вертикального положення, град

- Радіальна сила, що діє на коліно колінчастого валу

$$F_r = F_d \cdot \cos(\varphi + \beta) / \cos \beta, \text{ Н}$$

- Дотична сила, що діє на коліно колінчастого валу і створює

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 142.41.25.04 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                          | 31   |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

крутний момент двигуна

$$F_k = F_d \cdot \sin(\varphi + \beta) / \cos \beta, \text{ Н}$$

Динамічний розрахунок двигуна 6ГЧН 25/34 виконується в табличній формі по таким вихідним даним:

- а) діаметр поршня  $D = 0,25 \text{ м}$   
б) частота обертання колінчастого валу  $n = 500 \text{ хв}^{-1}$   
в) Ордината прийнята для  $P_{\max}$   $h_{\max} = 142,6 \text{ мм}$   
г) Максимальний тиск згоряння  $p_{\max} = 7,13 \text{ МПа}$   
д) кривошипно- шатунне відношення  $\lambda = R/L = 0,17/0,69 = 0,246$   
е) масштаб індикаторної діаграми  $m_p = 0,05 \text{ МПа/мм}$   
ж) маса деталей, що рухаються зворотно – поступально  
 $m_s = 80,6 \text{ кг}$   
з) радіус кривошипу  $R = 0,17 \text{ м}$   
л) кут максимального тиску  $\Delta \varphi = 10^\circ$   
к) кутова швидкість колінчастого валу  $\omega = \pi \cdot n / 30 =$   
 $= 3,14 \cdot 500 / 30 = 52,3 \text{ рад/с.}$

Динамічний розрахунок двигуна виконаний в табличній формі, а діаграми сил, що діють на деталі КШМ приведені листі Додатку 5 графічної частини роботи.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 142.41.25.04 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                          | 32   |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

Таблиця 2.5 Результати розрахунку динаміки газового двигуна 6ГЧН25/34

| $\varphi$ ° | P <sub>ц</sub> | F <sub>г</sub> | F <sub>и</sub> | F <sub>d</sub> | F <sub>N</sub> | F <sub>r</sub> | F <sub>k</sub> | F <sub>г</sub> | F <sub>и</sub> | F <sub>d</sub> | F <sub>N</sub> | F <sub>r</sub> | F <sub>k</sub> |
|-------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| ПКВ         | ММ             | кН             | кН             | кН             | кН             | кН             | кН             | ММ             | ММ             | ММ             | ММ             | ММ             | ММ             |
| 0           | 3,2            | 7,85           | -66,41         | -58,56         | 0,00           | -58,56         | 0,00           | 3,2            | -27,1          | -23,9          | 0,0            | -23,9          | 0,0            |
| 15          | 3,2            | 7,85           | -62,84         | -54,99         | -3,51          | -52,21         | -17,62         | 3,2            | -25,6          | -22,4          | -1,4           | -21,3          | -7,2           |
| 30          | 3,2            | 7,85           | -52,72         | -44,87         | -5,56          | -36,07         | -27,25         | 3,2            | -21,5          | -18,3          | -2,3           | -14,7          | -11,1          |
| 45          | 3,2            | 7,85           | -37,69         | -29,84         | -5,27          | -17,37         | -24,83         | 3,2            | -15,4          | -12,2          | -2,1           | -7,1           | -10,1          |
| 60          | 3,2            | 7,85           | -20,09         | -12,24         | -2,67          | -3,81          | -11,94         | 3,2            | -8,2           | -5,0           | -1,1           | -1,6           | -4,9           |
| 75          | 3,2            | 7,85           | -2,44          | 5,41           | 1,32           | 0,12           | 5,57           | 3,2            | -1,0           | 2,2            | 0,5            | 0,0            | 2,3            |
| 90          | 3,2            | 7,85           | 13,11          | 20,96          | 5,32           | -5,32          | 20,96          | 3,2            | 5,3            | 8,5            | 2,2            | -2,2           | 8,5            |
| 105         | 3,2            | 7,85           | 25,15          | 33,00          | 8,07           | -16,34         | 29,79          | 3,2            | 10,3           | 13,5           | 3,3            | -6,7           | 12,1           |
| 120         | 3,2            | 7,85           | 33,21          | 41,06          | 8,95           | -28,28         | 31,08          | 3,2            | 13,5           | 16,7           | 3,6            | -11,5          | 12,7           |
| 135         | 3,2            | 7,85           | 37,69          | 45,54          | 8,04           | -37,89         | 26,51          | 3,2            | 15,4           | 18,6           | 3,3            | -15,4          | 10,8           |
| 150         | 3,2            | 7,85           | 39,60          | 47,45          | 5,88           | -44,04         | 18,63          | 3,2            | 16,1           | 19,3           | 2,4            | -18,0          | 7,6            |
| 165         | 3,2            | 7,85           | 40,13          | 47,98          | 3,06           | -47,14         | 9,46           | 3,2            | 16,4           | 19,6           | 1,2            | -19,2          | 3,9            |
| 180         | 3,2            | 7,85           | 40,19          | 48,04          | 0,00           | -48,04         | 0,00           | 3,2            | 16,4           | 19,6           | 0,0            | -19,6          | 0,0            |
| 195         | 3,2            | 7,85           | 40,13          | 47,98          | -3,06          | -47,14         | -9,46          | 3,2            | 16,4           | 19,6           | -1,2           | -19,2          | -3,9           |
| 210         | 3,5            | 8,59           | 39,60          | 48,19          | -5,97          | -44,72         | -18,92         | 3,5            | 16,1           | 19,6           | -2,4           | -18,2          | -7,7           |
| 225         | 4,1            | 10,06          | 37,69          | 47,75          | -8,43          | -39,73         | -27,80         | 4,1            | 15,4           | 19,5           | -3,4           | -16,2          | -11,3          |
| 240         | 4,6            | 11,28          | 33,21          | 44,49          | -9,70          | -30,65         | -33,68         | 4,6            | 13,5           | 18,1           | -4,0           | -12,5          | -13,7          |
| 255         | 5,5            | 13,49          | 25,15          | 38,64          | -9,45          | -19,13         | -34,88         | 5,5            | 10,3           | 15,8           | -3,9           | -7,8           | -14,2          |
| 270         | 7,0            | 17,17          | 13,11          | 30,28          | -7,69          | -7,69          | -30,28         | 7,0            | 5,3            | 12,3           | -3,1           | -3,1           | -12,3          |
| 285         | 9,4            | 23,06          | -2,44          | 20,62          | -5,04          | 0,46           | -21,22         | 9,4            | -1,0           | 8,4            | -2,1           | 0,2            | -8,7           |
| 300         | 13,8           | 33,85          | -20,09         | 13,76          | -3,00          | 4,28           | -13,42         | 13,8           | -8,2           | 5,6            | -1,2           | 1,7            | -5,5           |
| 315         | 22,2           | 54,46          | -37,69         | 16,77          | -2,96          | 9,76           | -13,95         | 22,2           | -15,4          | 6,8            | -1,2           | 4,0            | -5,7           |
| 330         | 38,2           | 93,71          | -52,72         | 40,99          | -5,08          | 32,96          | -24,90         | 38,2           | -21,5          | 16,7           | -2,1           | 13,4           | -10,1          |
| 345         | 73,9           | 181,29         | -62,84         | 118,45         | -7,56          | 112,45         | -37,96         | 73,9           | -25,6          | 48,3           | -3,1           | 45,8           | -15,5          |
| 360         | 112,0          | 274,75         | -66,41         | 208,34         | 0,00           | 208,34         | 0,00           | 112,0          | -27,1          | 84,9           | 0,0            | 84,9           | 0,0            |
| 375         | 155,7          | 381,95         | -62,84         | 319,11         | 20,36          | 302,97         | 102,26         | 155,7          | -25,6          | 130,1          | 8,3            | 123,5          | 41,7           |
| 390         | 94,1           | 230,84         | -52,72         | 178,12         | 22,08          | 143,22         | 108,18         | 94,1           | -21,5          | 72,6           | 9,0            | 58,4           | 44,1           |
| 405         | 55,6           | 136,39         | -37,69         | 98,70          | 17,44          | 57,47          | 82,12          | 55,6           | -15,4          | 40,2           | 7,1            | 23,4           | 33,5           |
| 420         | 35,8           | 87,82          | -20,09         | 67,73          | 14,77          | 21,07          | 66,04          | 35,8           | -8,2           | 27,6           | 6,0            | 8,6            | 26,9           |
| 435         | 25,0           | 61,33          | -2,44          | 58,89          | 14,41          | 1,33           | 60,61          | 25,0           | -1,0           | 24,0           | 5,9            | 0,5            | 24,7           |
| 450         | 18,6           | 45,63          | 13,11          | 58,74          | 14,91          | -14,91         | 58,74          | 18,6           | 5,3            | 23,9           | 6,1            | -6,1           | 23,9           |

| Продовження таблиці 2.5 |      |       |        |        |       |        |        |      |       |       |      |       |       |
|-------------------------|------|-------|--------|--------|-------|--------|--------|------|-------|-------|------|-------|-------|
| <b>465</b>              | 15,3 | 37,53 | 25,15  | 62,68  | 15,33 | -31,04 | 56,58  | 15,3 | 10,3  | 25,6  | 6,3  | -12,7 | 23,1  |
| <b>480</b>              | 14,0 | 34,34 | 33,21  | 67,55  | 14,73 | -46,53 | 51,14  | 14,0 | 13,5  | 27,5  | 6,0  | -19,0 | 20,8  |
| <b>495</b>              | 12,4 | 30,42 | 37,69  | 68,11  | 12,03 | -56,67 | 39,65  | 12,4 | 15,4  | 27,8  | 4,9  | -23,1 | 16,2  |
| <b>510</b>              | 10,5 | 25,76 | 39,60  | 65,36  | 8,10  | -60,66 | 25,67  | 10,5 | 16,1  | 26,6  | 3,3  | -24,7 | 10,5  |
| <b>525</b>              | 8,4  | 20,61 | 40,13  | 60,74  | 3,87  | -59,67 | 11,98  | 8,4  | 16,4  | 24,8  | 1,6  | -24,3 | 4,9   |
| <b>540</b>              | 6,9  | 16,93 | 40,19  | 57,12  | 0,00  | -57,12 | 0,00   | 6,9  | 16,4  | 23,3  | 0,0  | -23,3 | 0,0   |
| <b>555</b>              | 4,7  | 11,53 | 40,13  | 51,66  | -3,30 | -50,75 | -10,19 | 4,7  | 16,4  | 21,1  | -1,3 | -20,7 | -4,2  |
| <b>570</b>              | 3,7  | 8,95  | 39,60  | 48,56  | -6,02 | -45,06 | -19,07 | 3,7  | 16,1  | 19,8  | -2,5 | -18,4 | -7,8  |
| <b>585</b>              | 3,0  | 7,36  | 37,69  | 45,05  | -7,96 | -37,48 | -26,23 | 3,0  | 15,4  | 18,4  | -3,2 | -15,3 | -10,7 |
| <b>600</b>              | 3,0  | 7,36  | 33,21  | 40,57  | -8,85 | -27,94 | -30,71 | 3,0  | 13,5  | 16,5  | -3,6 | -11,4 | -12,5 |
| <b>615</b>              | 3,0  | 7,36  | 25,15  | 32,51  | -7,95 | -16,10 | -29,34 | 3,0  | 10,3  | 13,3  | -3,2 | -6,6  | -12,0 |
| <b>630</b>              | 3,0  | 7,36  | 13,11  | 20,47  | -5,20 | -5,20  | -20,47 | 3,0  | 5,3   | 8,3   | -2,1 | -2,1  | -8,3  |
| <b>645</b>              | 3,0  | 7,36  | -2,44  | 4,92   | -1,20 | 0,11   | -5,06  | 3,0  | -1,0  | 2,0   | -0,5 | 0,0   | -2,1  |
| <b>660</b>              | 3,0  | 8,59  | -20,09 | -11,50 | 2,51  | -3,58  | 11,22  | 3,5  | -8,2  | -4,7  | 1,0  | -1,5  | 4,6   |
| <b>675</b>              | 3,0  | 7,36  | -37,69 | -30,33 | 5,36  | -17,66 | 25,23  | 3,0  | -15,4 | -12,4 | 2,2  | -7,2  | 10,3  |
| <b>690</b>              | 3,0  | 7,36  | -52,72 | -45,36 | 5,62  | -36,47 | 27,55  | 3,0  | -21,5 | -18,5 | 2,3  | -14,9 | 11,2  |
| <b>705</b>              | 3,0  | 7,36  | -62,84 | -55,48 | 3,54  | -52,67 | 17,78  | 3,0  | -25,6 | -22,6 | 1,4  | -21,5 | 7,2   |
| <b>720</b>              | 3,0  | 7,36  | -66,41 | -59,05 | 0,00  | -59,05 | 0,00   | 3,0  | -27,1 | -24,1 | 0,0  | -24,1 | 0,0   |

### 3. РОЗРОБКА СИСТЕМИ ГАЗОПОСТАЧАННЯ

#### 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 (рис. 3.1).

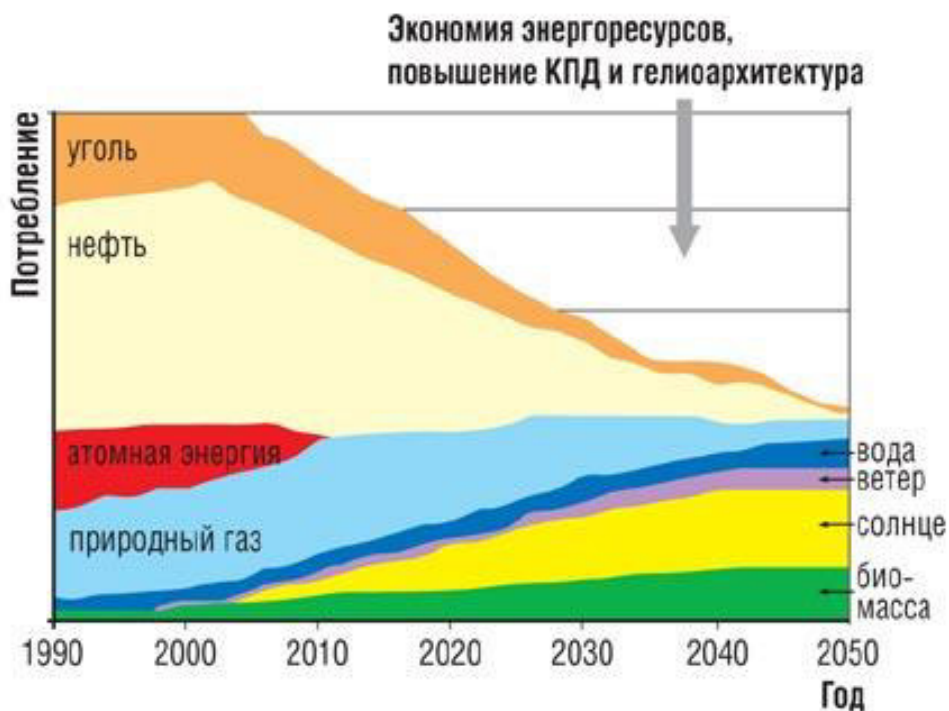


Рисунок 3.1 Споживання енергоносіїв

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.

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, низькоградусний 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.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 142.41.25.04 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                          | 36   |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |



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 відпрацював, не можна охолоджувати до температури менше 140...150°C, інакше, в теплообмінниках і в нижній частині системи каналів для 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

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 142.41.25.04 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                          | 37   |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |



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.

#### 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 електромагнітні клапани, манометр, а також комплект патрубків з фланцями.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 142.41.25.04 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                          | 38   |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

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

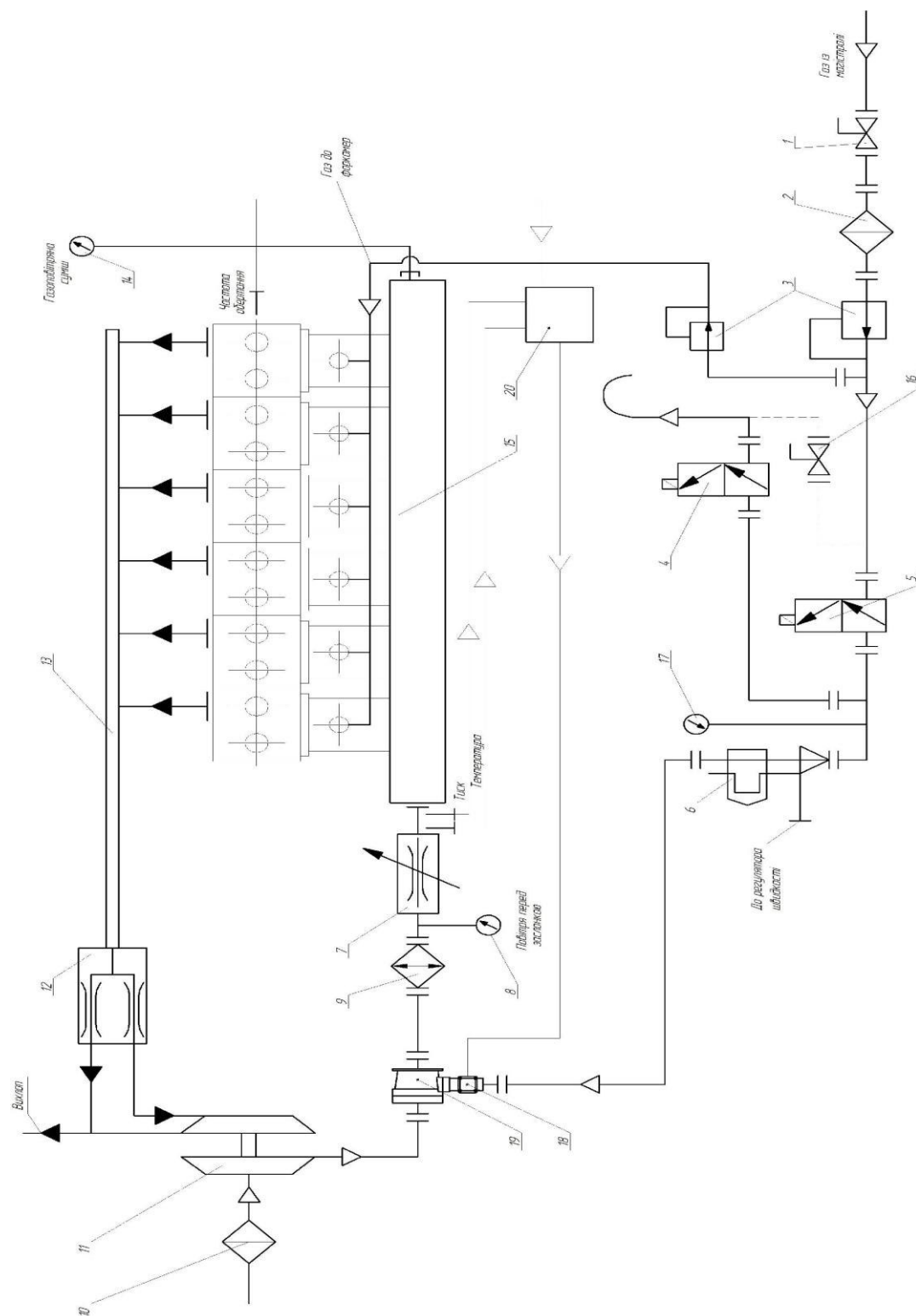


Рисунок 3.1 Принципова схема системи газообміну

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 142.41.25.04 ПЗ | Лист |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          | 39   |

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 Описання 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.

В даному дипломному проекті 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

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 142.41.25.04 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                          | 40   |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

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.

#### Змішувач

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

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 142.41.25.04 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                          | 41   |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

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 142.41.25.04 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                          | 42   |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

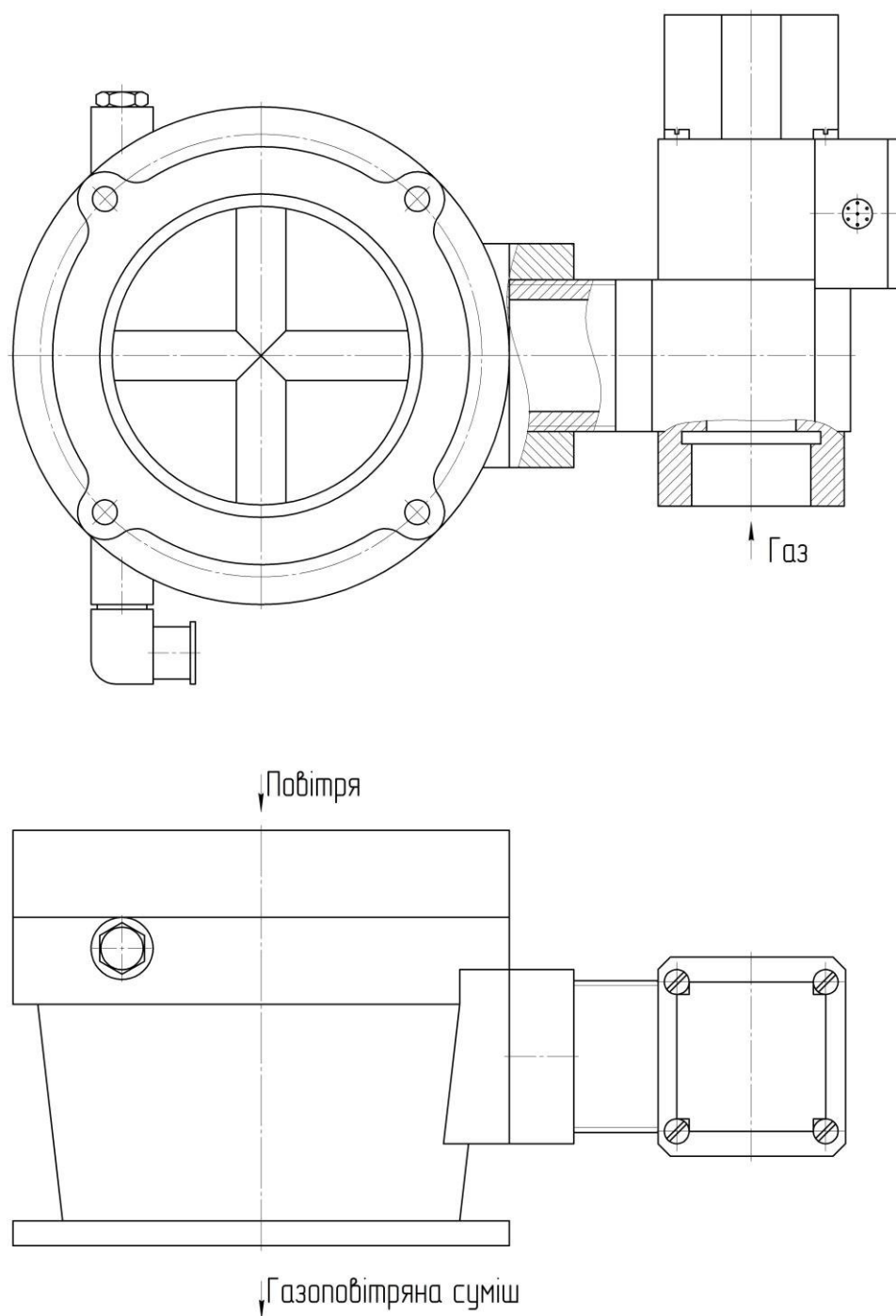


Рисунок 3.3 Змішувач і  $\lambda$ -клапан

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 142.41.25.04 ПЗ | Лист |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          | 43   |

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.

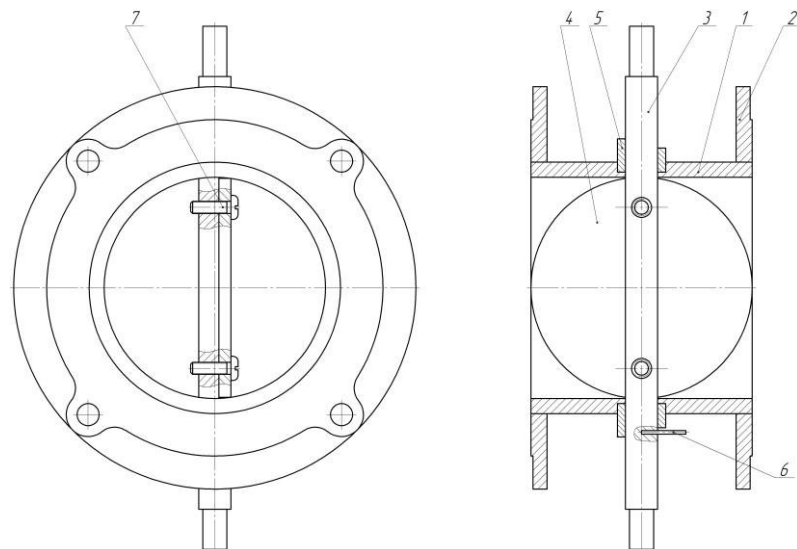


Рисунок 3.4 Заслінка

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

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 142.41.25.04 ПЗ | Лист |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          | 44   |

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.....          | 350    |
| 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 142.41.25.04 ПЗ | Лист |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          | 45   |



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

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

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

$\rho_{\text{г}} = [\varphi_{\text{с2н6}} \cdot (\mu_{\text{с2н6}} / 22,4)] + [\varphi_{\text{сн4}} \cdot (\mu_{\text{сн4}} / 22,4)] + [\varphi_{\text{со2}} \cdot (\mu_{\text{со2}} / 22,4)] + [\varphi_{\text{N2}} \cdot (\mu_{\text{N2}} / 22,4)] + [\varphi_{\text{с3н8}} \cdot (\mu_{\text{с3н8}} / 22,4)]$  – 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

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

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

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 142.41.25.04 ПЗ | Лист |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          | 46   |

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 142.41.25.04 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                          | 47   |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

### 4.1 Охорона праці та техніка безпеки при роботі в машинному відділенні

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

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

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

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

Основними небезпечними і шкідливими виробничими факторами є:

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

Працівник зобов'язаний дотримувати правила і вимоги санітарних норм:

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

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 142.41.25.04 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                          | 48   |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

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

Працівник зобов'язаний дотримувати правила особистої гігієни:

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

Працівник зобов'язаний:

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

Вимоги безпеки перед початком роботи

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

|      |      |          |        |      |
|------|------|----------|--------|------|
|      |      |          |        |      |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

ПННІ НУК 142.41.25.04 ПЗ

Лист

49

користуватися пристосуваннями, передбаченими техпроцесами

- Оглянути наявність і справність захисних кожухів.

#### Основні вимоги перед пуском дизеля

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

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

#### Вимоги безпеки під час роботи

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

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

- Пролите масло або паливо повинні бути негайно прибрані.

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

- Не запускати дизель без захисного кожуха на маховику;

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

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

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

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

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

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 142.41.25.04 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                          | 50   |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

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

#### Вимоги безпеки після закінчення робіт

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

#### Вимоги безпеки в аварійній ситуації

Можливою причиною аварії може бути:

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

|      |      |          |        |      |
|------|------|----------|--------|------|
|      |      |          |        |      |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

ПННІ НУК 142.41.25.04 ПЗ

Лист

51

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

При опіках слід робити холодні примочки з розчином борної кислоти.

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

При виникненні аварійної ситуації необхідно припинити роботу і:

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

#### 4.2 Захист навколишнього середовища

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

а) продукти повного (біоксиду вуглецю  $\text{CO}_2$ ) 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,

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 142.41.25.04 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                          | 52   |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

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

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

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

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 142.41.25.04 ПЗ | Лист |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          | 53   |



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

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

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

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

Оксиди азоту NO і NO<sub>2</sub> 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 NO<sub>2</sub> 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, NO<sub>2</sub> має вирішальну роль в утворенні фотооксидантів. Розчин NO<sub>2</sub> у воді є складовою "кислотних дощів".

Сірчистий газ SO<sub>2</sub> – основний токсичний продукт сполук сірки, що надходить у атмосферу з відпрацьованими газами. У вільному стані SO – це

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 142.41.25.04 ПЗ | Лист |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          | 54   |

газ без кольору з різким запахом, кислий на смак, отруйний, подразнює слизові оболонки очей і дихальних шляхів. Легко розчиняється у воді, утворюючи сірчисту кислоту  $H_2SO_3$

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

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

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

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 142.41.25.04 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                          | 55   |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

## ВИСНОВКИ

Кваліфікаційна бакалаврська робота на тему «Розробка системи подачі біогазу для стаціонарного газового двигуна потужністю 350 кВт» складається із Вступу, чотирьох розділів та Додатків - 5 листів креслень формату А1.

Газовий двигун 6ГЧН25/4 потужністю 350 кВт при частоті обертання колінчастого валу  $600 \text{ хв}^{-1}$  використовується для приводу електрогенератора змінного струму і встановлюється в місцях постійного споживання електричної та теплової енергії. Детальна конструкція газового двигуна 6ГЧН 25/34 показана в Додатку 1 графічної частини роботи.

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, по результатам якого побудовані індикаторна діаграма дійсного робочого циклу та діаграми сил, що діють на деталі КШМ. Величини цих сил знайдені в динамічному розрахунку двигуна. Діаграми сил побудовані на листі Додатку 5 графічної частини роботи.

В пояснювальній записці також приведені обґрунтування розробленої конструкції системи ГПС та розрахунок її основних параметрів.

Газовий двигун 6ГЧН 25/34 є джерелом шуму і вібрації, а тому значну увагу в кваліфікаційній роботі приділено розробці заходів по зменшенню негативного впливу його роботи на обслуговуючий персонал і на навколишнє середовище.

Додатки до пояснювальної записки містять креслення двигуна 6ГЧН25/34, складальне креслення заслінки та змішувача, специфікації двигуна, заслінки та змішувача.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 142.41.25.04 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                          | 56   |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

## ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ

### Основна література

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, ПП, 2000р.
- 9.Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни «Конструкція та динаміка двигунів внутрішнього згоряння». Коваленко І.М., Доценко С.М. Первомайськ, ПП, 2005.
10. Горбов В.М. Энергетичні палива: Навчальний посібник. Миколаїв: УДМТУ, 2003. - 328 с.

### Допоміжна

1. Артемов Г.А., Горбов В.М. Суднові енергетичні установки: Навчальний посібник. – Миколаїв: УДМТУ, 2002.-356с.
2. Э.В. Корнилов, Э.Н. Голофастов. Главные среднеоборотные дизеля морских судов (Конструкция. Эксплуатация). Учебное пособие. Одесса – 296с.:ил.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 142.41.25.04 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                          | 57   |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |