

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

Кафедра «Енергетичне машинобудування»

«Допущений до захисту»  
Завідувач кафедри

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2022 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»

**на тему:** Розробка вдосконаленої паливної системи для стаціонарного газового двигуна потужністю 720 кВт. Прототип – 6ГЧН 26/34

Виконав: студент групи 44-ЕМ-20

\_\_\_\_\_  
(підпис) **Герасименко С.В.**

Керівник роботи:

\_\_\_\_\_  
(посада, науковий ступень, вчене звання) **ст. викладач**

\_\_\_\_\_  
(підпис) **Нестеренко В.В.**

Первомайськ - 2022 р.

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

**Факультет – Інженерно-економічний**

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

«ЗАТВЕРДЖУЮ»  
Гарант освітньої програми

\_\_\_\_\_  
(підпис)  
«\_\_\_»\_\_\_\_\_ 2022 р.

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

Студенту Герасименко Владиславу Ігоровичу

1. Тема роботи: «Розробка вдосконаленої паливної системи для стаціонарного газового двигуна потужністю 720 кВт. Прототип – 6ГЧН 26/34»

Керівник роботи Нестеренко В. В.

Затверджено розпорядженням ПННІ НУК від 15.02.22 за № 10.

2. Термін подання студентом роботи до розгляду на кафедру 17.05.2022 року.

3. Вихідні данні по роботі: Двигун-прототип 6ГЧН 26/34, номінальною потужністю 630 кВт.

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

Вступ.

Розділ 1. Опис конструкції газового двигуна 6ГЧН26/34.

Розділ 2. Розрахунок робочого процесу і динаміки двигуна.

Розділ 3. Проектування вдосконаленої паливної системи

Розділ 4. Організація охорони праці та захист навколишнього середовища.

Висновки.

5. Перелік презентаційних матеріалів.

Газовий двигун-генератор ДвГА-685 (СК), 2. Газовий двигун 6ГЧН26/34 (СК), 3.

Система подачі палива (СП), 4.Дозатор (СК), 5. Фільтр-глушник (СК), 6.

Індикаторна діаграма та діаграми динаміки (ІД)

### Консультанти розділів роботи

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата   |                  |
|--------|-------------------------------------------|----------------|------------------|
|        |                                           | завдання видав | завдання прийняв |
| 1      |                                           |                |                  |
| 2      |                                           |                |                  |
| 3      |                                           |                |                  |
| 4      |                                           |                |                  |
|        |                                           |                |                  |
|        |                                           |                |                  |

Дата видачі завдання «16» лютого 2022р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| Номер | Назва етапів роботи                                                                         | Термін виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|----------|
| 1.    | Вступ. Опис та конструкції двигуна-прототипу                                                | 14.03.2022                     |          |
| 2.    | Розрахунок параметрів робочого циклу, побудова теоретичної та дійсної індикаторної діаграми | 20.03.2022                     |          |
| 3.    | Визначення сил та моментів що діють в КШМ а також розрахунок теплового балансу двигуна      | 26.03.2022                     |          |
| 4.    | Проектування вдосконаленої паливної системи                                                 | 05.04.2022                     |          |
| 5.    | Розробка організації охорони праці та захисту навколишнього середовища                      | 12.04.2022                     |          |
| 6.    | Розробка креслення газового двигуна-генератора та двигуна 6ГЧН26/34                         | 18.04.2022                     |          |
| 7.    | Розробка системи подачі палива                                                              | 26.04.2022                     |          |
| 8.    | Розробка конструкції дозатора                                                               | 10.05.2022                     |          |
| 9.    | Розробка конструкції фільтра-глушника                                                       | 12.05.2022                     |          |
| 10.   | Загальні висновки по кваліфікаційній роботі                                                 | 16.05.2022                     |          |
| 11.   | Оформлення кваліфікаційної роботи                                                           | 17.05.2022                     |          |

Студент \_\_\_\_\_ Герасименко В.І.  
(підпис)

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Нестеренко В. В.  
(підпис)

## Анотація

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи на тему «Розробка вдосконаленої паливної системи для стаціонарного газового двигуна потужністю 720 кВт. Прототип 6ГЧН26/34» складається із Вступу, 4 розділів, Висновку та 9 Додатків – 4-х специфікацій та 5 листів креслень формату А4.

В текстовій частині пояснювальної записки приведений опис конструкції газового двигуна-прототипу 6ГЧН26/34, розрахований робочий процес проектованого двигуна з визначенням його основних параметрів, приведене обґрунтування покращеної паливної системи. Також виконані необхідні розрахунки на міцність деталей проектованого двигуна. На завершення в кваліфікаційній роботі розроблені заходи з охорони праці та навколишнього середовища, зроблено загальні висновки по виконаній роботі.

Додатки до пояснювальної записки містять специфікації на газовий двигун 6ГЧН26/34, дозатор, фільтр-глушник; креслення газового двигуна-генератора ДвГА-685, двигуна 6ГЧН26/34 (поперечний переріз), схему системи подачі газу, дозатора, фільтра-глушника, а також індикаторну діаграму та діаграми сил, що діють на КШМ.

**Ключові слова:** газовий двигун, робочий цикл, паливна система, дозатор, фільтр-глушник, діаграми сил, охорона праці.

## Annotation

Explanatory note to qualifying work on "Development of an improved fuel system for a stationary gas engine with a capacity of 720 kW. Prototype 6GHN26 / 34 »consists of entry, 4 sections, conclusion and 9 applications - 4 specifications and 5 sheets of drawings of A4 format.

In the text part of the explanatory note, a description of the structure of the prototype gas engine 6GHN26 / 34 is given, the working process of the projected engine with the definition of its basic parameters is calculated, the substantiation of the improved fuel system is calculated. Also, the necessary calculations are made to the strength of the designed engine. At the end of the qualification work, labor protection and environmental measures have been developed, general conclusions are made on the work performed.

Annexes to the explanatory note contains specs on a gas engine 6GHN26 / 34, a dispenser, a muffler filter; Drawings of the gas engine-generator ДБГА-685, engine 6GHN26 / 34 (cross-section), a scheme of a gas supply system, a dispenser, a muffler filter, as well as an indicator diagram and a diagram of forces operating on KCHM.

**Keywords: gas engine, working cycle, fuel system, dispenser, muffler filter, forces diagrams, labor protection.**

## ЗМІСТ

|                                                                               |         |
|-------------------------------------------------------------------------------|---------|
| <b>ВСТУП</b> .....                                                            | стор. 5 |
| <b>РОЗДІЛ 1. ОПИС КОНСТРУКЦІЇ ДВИГУНА 6ГЧН26/34</b> .....                     | 7       |
| <b>РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНОК РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ І ДИНАМІКИ ДВИГУНА</b>               |         |
| 2.1 Вимоги до запроектованого двигуна.....                                    | 13      |
| 2.2 Обґрунтування вибіру основних параметрів робочого циклу двигуна...        | 14      |
| 2.3 Розрахунок робочого процесу газового двигуна.....                         | 18      |
| 2.4 Розрахунок теплового балансу.....                                         | 32      |
| 2.5 Аналіз індикаторних та ефективних показників двигуна 6ГЧН26/34.....       | 37      |
| 2.6 Динамічний розрахунок двигуна 6ГЧН26/34.....                              | 39      |
| <b>РОЗДІЛ 3. ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ ПОДАЧІ ГЕНЕРАТОРНОГО ГАЗУ</b>               |         |
| 3.1 Огляда систем паливостачання газових двигунів.....                        | 43      |
| 3.2 Головні характеристики генераторного газу .....                           | 45      |
| 3.3 Опис системи газообміну двигуна.....                                      | 46      |
| 3.4 Опис газогенераторної установки для отримання газу.....                   | 49      |
| <b>РОЗДІЛ 4. ОРГАНІЗАЦІЯ ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА</b> |         |
| 4.1 Загальні положення про охорону праці.....                                 | 56      |
| 4.2 Аналіз умов праці на робочому місці.....                                  | 59      |
| 4.3 Розрахунок інтегральної бальної оцінки тяжкості праці.....                | 62      |
| 4.4 Визначення заходів з охорони праці.....                                   | 63      |
| <b>ВИСНОВКИ</b> .....                                                         | 64      |
| <b>СПИСОК ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ</b> .....                                         | 66      |

|           |             |             |        |      |                           |          |      |        |
|-----------|-------------|-------------|--------|------|---------------------------|----------|------|--------|
|           |             |             |        |      | ПІННІ НУК 142.44.22.06 ПЗ |          |      |        |
| Зм.       | Арк..       | № документа | Підпис | Дата |                           |          |      |        |
| Розробив  | Герасименко |             |        |      | Пояснювальна записка      | Літера   | Лист | Листів |
| Перевірив | Нестеренко  |             |        |      |                           | н        | 3    | 68     |
|           |             |             |        |      |                           | 44-ЕМ-20 |      |        |
| Н. контр  | Нестеренко  |             |        |      |                           |          |      |        |
| Затвердив | Нестеренко  |             |        |      |                           |          |      |        |

## ДОДАТКИ

|           |                                                           |    |
|-----------|-----------------------------------------------------------|----|
| Додаток 1 | Газовий двигун-генератор ДвГА-685. А1.....                | 67 |
| Додаток 2 | Газовий двигун 6ГЧН26/34 (Поперечний розріз), СК, А1..... | 68 |
| Додаток 3 | Принципова схема система подачі палива,СП, А1.....        | 69 |
| Додаток 4 | Дозатор, СК, А1 .....                                     | 70 |
| Додаток 5 | Фільтр-глушник, СК, А1.....                               | 71 |
| Додаток 6 | Діаграми індикаторна та сил, що діють на КШМ, А1.....     | 72 |

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 142.44.22.06 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                          | 4    |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

## ВСТУП

Широке застосування двигунів внутрішнього згоряння у всіх сферах промисловості та транспорту пояснюється рядом їх переваг, із яких основними є висока економічність ( навіть в агрегатах малої потужності), відносно малі габаритні розміри та маса, пристосованість до різних перемінних умов роботи та автономність (тобто можливість використовувати у відриві від місця постачання тривалий проміжок часу).

Розробка сучасного двигуна внутрішнього згоряння - складний процес, в якому приймають участь різні спеціалісти. Центральне місце в цьому процесі займає розробка конструкторського проекту.

Конструювання двигуна заключається в інженерній розробці його конструкції. Науково – технічний прогрес вимагає від конструкторів створення двигунів з високими значеннями основних його показників:

1. Надійність роботи, тобто здатність працювати при різних режимах (швидкісних та навантажувальних) стійко, без перебоїв та вимушених зупинок.
2. Простота конструкції. Мінімальна кількість вузлів та агрегатів.
3. Найменші габаритні розміри та маса двигуна та його допоміжних пристосувань
4. Економічна витрата палива та мастила.
5. Зручність та безпека обслуговування під час роботи. Автоматизація управління.
6. Надійний запуск.
7. Можливо повне врівноваження сил та моментів мас, що рухаються.
8. Відсутність заборонених «критичних» зон частот обертання для експлуатаційних режимів роботи агрегату із приводним ДВЗ.
9. Наявність регулятора, що автоматично діє на органи подачі паливних насосів та підтримує встановлені частоту обертання та навантаження двигуна.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 142.44.22.06 ПЗ | Лист |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          | 5    |



10.Можлива рівномірність ходу, що забезпечує задану ступінь рівномірності обертання валу.

11. Зручність кріплення на фундаменті або на рамі.

12. технологічність конструкції деталей, застосування уніфікованих деталей, простота складання двигуна, а також його окремих вузлів та агрегатів.

13. Доступність для спостереження та огляду відповідальних вузлів двигуна.

Успішне вирішення цих проблем в основному визначається принциповим підходом до проектування двигунів з врахуванням їх типу, призначення і особливостей експлуатації.

Запроектований газовий двигун призначений для приводу електрогенератора і встановлюється в машинній залі електростанції на рамі спільно із електрогенератором. Для забезпечення надійної та тривалої роботи газового двигуна 6ГЧН26/34 на генераторному газу розроблена принципова схема паливної системи, виконано креслення дозатора для правильного регулювання роботи двигуна та розроблена конструкція фільтра повітряного з вбудованої змішувальною камерою.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 142.44.22.06 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                          | 6    |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

## РОЗДІЛ 1. ОПИС КОНСТРУКЦІЇ ДВИГУНА 6ГЧН26/34

Технічні характеристики двигуна-прототипу 6ГЧН26/34

Діаметр циліндра D.....0,26 м.

Хід поршня S.....0,34 м.

Ефективна потужність двигуна  $P_e$ .....630 кВт.

Частота обертання  $n$ .....750  $\text{хв}^{-1}$

Двигун-генератор 6ГЧН26/34 – чотирьохтактний, тунковий, простої дії, з газотурбінним наддувом, нереверсивний, з циліндовою потужністю  $P_{e\text{ц}}=110$  кВт при 750  $\text{хв}^{-1}$ .

Двигун призначений для використання в якості приводу електрогенератора змінного струму.

Опис складальних частин двигуна

З боку вільного кінця валу розташовані турбокомпресор, охолоджувач наддувочного повітря, насоси: водяні та масляний. Привід всіх насосів здійснений від шестерні колінчастого валу.

З боку основного відбору потужності розташований електронний цифровий регулятор частоти обертання, щит приладів.

Тракти впускання і випускного розташовані на правій стороні дизеля, що спрощує обслуговування, внутрішня порожнина верхньої частини блоку з правого боку двигун-генератора використана як наддувочний ресивер.

Двигун повністю закапотований, виїмка розподільного валу передбачена убік, без розбирання інших вузлів.

У нижній точці корпусу охолоджувача газоповітряної суміші встановлений автоматичний клапан для зливу конденсату з корпусу охолоджувача на непрацюючому дизелі.

Кришка циліндра індивідуальна для кожного циліндра, відлита з чавуну, 4-х клапанна з послідовним розташуванням однойменних клапанів, кріпиться до блоку чотирма силовими шпильками. Втулка циліндра з сорочкою кріпиться до

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 142.44.22.06 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                          | 7    |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

кришки циліндра шістьма шпильками, які спільно з силовими шпильками забезпечують замикання газового стику. Під втулки циліндрів при установці їх в блок-картер встановлюються регульовальні кільця, за допомогою яких забезпечується підбір висоти камери стиснення.

Розташування свічки в кришці циліндрів – центральне, ущільнення у вогняному днищі мідною прокладкою. На кришці змонтовані пусковий, запобіжний клапани і індикаторний кран.

Для двигуна прийнята конструкція втулки з напресованою сорочкою. Така конструкція втулки дозволяє зробити блок сухим, що оберігає його від корозійного руйнування.

Поршень – складовий, охолоджуваний маслом, головка поршня відокремлена, сталева, тронк поршня – чавунний.

Шатун виконаний з прямим роз'ємом нижньої головки.

Головний підшипник – бронзовий.

Колінчастий вал – цільнокований з високоякісної сталі. На провідному кінці валу розташована шестерня приводу розподільного валу. На вільному кінці валу встановлюються шестерня приводу водяних насосів, масляного насоса і тахометра. Для урівноваження сил інерції мас, що обертаються, на всіх щоках валу встановлені противаги.

Блок-картер – коробчатої конструкції. З боку заднього торця до блок-картеру кріпиться корпус приводу. Блок-картер і кришка при виготовленні обробляються спільно, і при ремонті розбирати їх не рекомендується.

Усередині кришки розташований комплект шестерень, призначений для передачі обертання від колінчастого валу до розподільного валу.

Закриття і ущільнення служать для запобігання витокам масла по колінчастому валу з блок – картера. На задньому торці кріпиться кронштейн щита приладів.

З переднього торця до блок-картеру кріпиться кожух передній, який є корпусом приводу допоміжних агрегатів, що навісять на двигун-генератор. У верхній

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 142.44.22.06 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                          | 8    |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

частині блок-картер розміщені втулки циліндрів. У просторі між втулками і сорочками циркулює охолоджуюча вода. У верхню полицю блок-картера укручені шпильки кріплення кришок циліндрів. Порожнина розподільного валу закрита закриттям розподільного валу. Конструкція блок-картера забезпечує виїмку розподільного валу у бік газорозподілу. Кришки закривають технологічні порожнини. Колінчастий вал підвісний, кріпиться до блок-картеру за допомогою бугелів семи опорних підшипників і одного бугеля наполегливого підшипника. Кріплення кожного бугеля здійснюється двома силовими болтами, гайки яких розміщуються в спеціальних вікнах блок-картера. Для доступу до шатунних і корінних підшипників в нижній частині блок-картера з обох боків передбачені люки, закриті щитами картера. На щитах картера змонтовані запобіжні клапани, які призначені для оберігання двигуна від руйнування при вибуху масляної пари в картері. Нагнітальна повітряна порожнина утворена стінками блок-картера. Перехідник служить для підведення робочої суміші з порожнини впускного колектора в кришку циліндра.

Корінні підшипники. Корінний підшипник складається з двох сталевих вкладишів, що укладаються в ліжку, утворюване блок-картером і бугелем. Від осьового зсуву і провертання при монтажі вкладиші утримуються виконаними на них вусами.

Підведення масла здійснюється від розподільної труби по каналах в блок-картері. Масло по сегментній виточці в блок-картері потрапляє через отвори безпосередньо до корінної шийки колінчастого валу, потім по каналах колінчастого валу до шатунного підшипника і далі по шатуну до головного підшипника і на охолодження головки поршня, після чого масло зливається в раму. Щільне прилягання вкладишів до ліжок в об'язковому стані забезпечується тим, що у вільному стані вкладиші мають перевищення в площині роз'єму блоку і бугеля.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 142.44.22.06 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                          | 9    |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

Втулка циліндру.

Втулка циліндру складається з гільзи і сорочки. Така конструкція дозволяє підвищити надійність газового стику і організувати рівномірне охолодження гільзи.

Втулка циліндра і кришка циліндра кріпляться до блок-картеру чотирма силовими шпильками. Додатково втулка циліндра і кришка скріпляються між собою шпильками з гайками. Охолодження гільзи відбувається таким чином: вода з охолоджуючої магістралі поступає на вхід на сорочці, звідки прямує в порожнину охолодження втулки циліндра.

Перепуск охолоджуючої води з порожнини охолодження втулки в кришку циліндра відбувається через вісім перепускних отворів. Гільза у верхній частині має подовжні ребра, за рахунок яких забезпечується збільшення швидкості охолоджуючої води, а, отже, рівномірне інтенсивне охолодження. Посадка гільзи в сорочці підібрана такої, що при робочій температурі переходить в пресову, забезпечуючи додаткову жорсткість і міцність всієї конструкції втулки циліндра.

У верхній і нижній частині між гільзою і сорочкою поставлені кільця ущільнювачів, що служать для запобігання підтіканню води з охолоджуючої порожнини. Для ущільнення картера, в нижній частині сорочки встановлене кільце ущільнювача. Кільце перешкоджає попаданню води в картер при розгерметизації підведення води в сорочку і перешкоджає попаданню масла в «сухі» порожнини блоку. У нижній частині втулки є дві прорізки, в які входить нижня головка шатуна при його підйомі для проведення техобслуговування.

Кришка циліндру – чотирьох клапанна з виводом газових каналів на одну сторону та із центрально розташованою свічкою запалювання.

Одноименні клапани розташовані послідовно. Для забезпечення високих ресурсів клапанів в кришку встановлюються на пресовій посадці сідла клапанів із спеціального сплаву, фаски випускних клапанів мають наплавлення твердим сплавом.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 142.44.22.06 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                          | 10   |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

Організоване охолодження забезпечує ефективне відведення тепла від найбільш навантажених в тепловому відношенні елементів днища кришки

Свічка запалювання встановлюється до кришки в спеціальний стакан, ущільнення свічки у вогняному днищі мідною прокладкою.

На кришці змонтовані пусковий клапан, запобіжний клапан і індикаторний кран, які встановлені на спеціальному фланці. Гайки силових шпильок кріплення кришки циліндра до блоку передбачено затягувати за допомогою гідродомкратів. Поверхня кришки притирається до торцевої поверхні втулки циліндра.

Колінчастий вал – сталевий цільнокований, має десять корінних і вісім шатунних шийок. Кривошипи розташовані під кутом 90° по відношенню один до одного.

Всі шийки колінчастого валу – порожнисті. Масло з канавок корінних підшипників поступає до шатунним підшипників по каналах, що сполучають корінні шийки з шатунними, минувши внутрішні порожнини шийок. На передньому кінці колінчастого валу встановлений маховик переднього торця і шестерня приводу насосів, а також ротор для забезпечення роботи тахометра. Шестерня – демпферуюча, пружним елементом якої є шість пружин. На задньому кінці валу на фланець насаджена шестерня колінчастого валу, призначена для приводу розподільного валу. Шестерня кріпиться до фланця колінчастого валу за допомогою шпонки і притиску.

Механізм газорозподілу призначений для управління впусканням свіжого заряду газоповітряної суміші в циліндри двигуна і випуском відпрацьованих газів з них відповідно до встановлених фаз. У механізм входять: розподільний вал з кулачковими шайбами, привід розподільного валу, привід випускних і впускних клапанів.

Розподільний вал – сталевий, цільний, змонтований на семи підшипниках, розташованих в ніші під горизонтальною полицею блок-картера.

На розподільний вал на шпонках насаджені сталеві з цементованою

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 142.44.22.06 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                          | 11   |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

робочою поверхнею, впускні і випускні кулаки.

Від осьового зсуву всі кулаки стопоряться болтами. Кулаки на розподільному валу розташовані в певній послідовності залежно від порядку роботи циліндрів. Фази газорозподілу для одного циліндра показані на діаграмі.

На конусний кінець валу на шпонці насаджена маточина, на якій кріпляться шестерні розподільного валу. Маточина кріпиться від осьового зсуву гайкою і фіксується в кожусі приводу двома наполегливими підшипниками.

Система регулювання. Система автоматичного регулювання частоти обертання автоматично підтримує задану частоту обертання колінчастого валу із заданим ступенем точності при навантаженні, що змінюється, на двигун-генератор.

Система складається з газового двигуна (як регульованого об'єкту), цифрового регулятора швидкості, механізму подачі газу. Цифровий електронний регулятор складається з пристрою управління, актуатора, магнітного датчика, настановного потенціометра (збільшення швидкості, зменшення швидкості), акумуляторної батареї напругою 24 В і сполучних дротів.

Механізм регулювання подачі газу. Механізм регулювання подачі газу – це з'єднання регулятора швидкості (актуатора) з дозатором газу призначено для регулювання кількості подачі газу в змішувач при навантаженні, що змінюється. Основними елементами механізму є: вал, підшипники, система важелів, ланка регулювальна, повідець.

Взаємодія деталей механізму наступна: силовий вал актуатора, повертаючи важіль, через ланку регулювальну і важіль повертає в підшипниках вал. На валу кріпляться упори і пружини. Вал з'єднується з заслінкою газового дозатора.

Він складається з двох ударних механізмів (коробка ударника), коробки пружини, системи важелів і тяги, клямок. Коробки ударника кріпляться на маховику болтами і штифтами.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 142.44.22.06 ПЗ | Лист |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          | 12   |

## РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНОК РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ І ДИНАМІКИ ДВИГУНА

### 2.1 Вимоги до запроектованого двигуна

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

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

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

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

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

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

Застосування двигуна для приводу електричного генератора обумовлює

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 142.44.22.06 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                          | 13   |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |



вимоги до таких параметрів, як частота обертання колінчастого валу і потужність. Вимоги до системи регулювання частоти обертання особливо жорсткі тому, що необхідно забезпечити усталену роботу двигуна на всіх режимах навантаження.

- Основні параметри двигуна - прототипу

Двигун проектується на базі газового двигуна 6ГЧН 26/34, основні параметри якого наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 Основні параметри газового двигуна - прототипу 6ГЧН26/34

| Найменування параметра                              | Од. виміру                             | Значення |
|-----------------------------------------------------|----------------------------------------|----------|
| Номінальна ефективна потужність, $P_e$              | кВт                                    | 670      |
| Середній ефективний тиск, $p_{me}$                  | МПа                                    | 1,095    |
| Номінальна частота обертання колінчастого валу, $n$ | $\text{хв}^{-1}$                       | 750      |
| Питома витрата газового палива, $b_e$               | $\text{м}^3/\text{кВт}\cdot\text{год}$ | 0,3      |
| Витрата газового палива за годину, $V_g$            | $\text{м}^3/\text{год}$                | 189      |
| Питома витрата мастила, $g_m$                       | $\text{г}/(\text{кВт}\cdot\text{год})$ | 1,0      |
| Ресурс до першої переборки, $t_{пер}$               | год                                    | 8000     |
| Ресурс до капітального ремонту, $t_{кр}$            | год                                    | 60000    |

## 2.2 Обґрунтування вибіру основних параметрів робочого циклу двигуна

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

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 142.44.22.06 ПЗ | Лист |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          | 14   |

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

Проведемо аналіз вихідних параметрів для розрахунку робочого процесу:

#### 1. 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 буде зменшуватися.

#### 2. Ступінь стиску

Ступінь стиску для дизелів знаходиться в межах  $\varepsilon = 12 \dots 18$  і залежить в основному від діаметру циліндру і числа обертів колінчастого валу. Ступінь стиску для газових двигунів  $\varepsilon = 8 \dots 12$  і обмежується в основному появою детонаційного горіння в циліндрах двигуна при високих  $\varepsilon$ . В конкретному газовому двигуні ступінь стиску має бути такою, щоб температура стиску не перевищувала температури самозапалювання газоповітряної суміші  $t_c = 640^\circ\text{C}$  [1].

#### 3. Коефіцієнт надлишку повітря

Коефіцієнт надлишку повітря для згорання дизельного палива знаходиться в межах  $\alpha = 1,8 \dots 3,0$  і залежить від режиму роботи дизеля.

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

4. Тиск наддуву для дизельних двигунів сягає  $0,3 \dots 0,4$  МПа і обмежується в основному механічною міцністю деталей двигуна, так як максимальний тиск згорання при цьому складає  $18 \dots 20$  МПа.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 142.44.22.06 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                          | 15   |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

Тиск наддуву у газових двигунах із подачею газо - повітряної суміші під надлишковим тиском має бути таким, щоб, з однієї сторони, забезпечити необхідну потужність двигуна, а з другої сторони, таким, щоб температура ГПС в кінці стиску не перевищувала температури її samozapalювання. В стаціонарних газових двигунах при ступені стиску  $\varepsilon = 12 \dots 12,5$  допускається наддув до надлишкового тиску 0,055 МПа при охолодженні наддувочного повітря до температури, що не більше ніж на 10 °С перевищує температуру навколишнього середовища. [1] .

#### 5. Коефіцієнт продувки камери згоряння

Коефіцієнт продувки  $\phi_a = G_k/G_a$  характеризує якість процесу газообміну, який для дизельного двигуна з великим кутом перекриття клапанів  $\alpha_{\text{пер}} = 140 \dots 150^\circ$  дорівнює 1,1...1,2. Для газових двигунів із системою зовнішнього сумішоутворення коефіцієнт продувки приймається  $\phi_a = 1,02 \dots 1,05$ , так як кут перекриття впускного і випускного клапанів не значний  $\alpha_{\text{пер}} \approx 50^\circ$ .

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

#### 7. Коефіцієнти використання теплоти

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

#### 8. Ступінь підвищення тиску

Ступінь підвищення тиску при згорянні  $\lambda$  залежить від швидкохідності двигуна, ступеню наддуву, організації процесів утворення робочої суміші і ряду інших факторів, при розрахунках для середньооборотних двигунів

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 142.44.22.06 ПЗ | Лист |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          | 16   |

рекомендується приймати  $\lambda = 1,35 \dots 2,2$ . [2]

#### 9. Механічний ККД

Механічний ККД двигуна залежить від його конструкції, швидкохідності, наявності приводних механізмів на ньому і таке інше. По дослідним даним двигуна - прототипу приймаємо ККД зпроектованого двигуна  $\eta_m = 0,89$ .

#### 10. Охолодження наддувочного повітря

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

#### 11. Температура залишкових газів.

При виконанні розрахунку робочого процесу двигуна температуру залишкових газів рекомендується приймати в межах  $T_r = 600 \dots 900 \text{ K}$ . В розрахунку приймаємо  $T_r = 750 \text{ K}$ . [3]

#### 12. Коефіцієнт округлення індикаторної діаграми.

Коефіцієнт скруглення індикаторної діаграми рекомендується для карбюраторних і газових двигунів приймати  $\phi = 0,93 \dots 0,97$ , а для дизелів з нероздільною камерою згоряння  $\phi = 0,90 \dots 0,95$ . [3]

#### 13. Показник політропи стиску в компресорі.

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

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 142.44.22.06 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                          | 17   |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

## 2.3 Розрахунок робочого процесу двигуна 6ГЧН26/34 при роботі на генераторному газі.

### 1. Проектні параметри двигуна

|                                      |                 |      |                  |
|--------------------------------------|-----------------|------|------------------|
| Ефективна потужність                 | $P_e =$         | 720  | кВт              |
| Частота обертання колінчастого валу. | $n =$           | 750  | $\text{хв}^{-1}$ |
| Діаметр циліндра                     | $D =$           | 260  | мм               |
| Хід поршня                           | $S =$           | 340  | мм               |
| Ступінь стиску                       | $\varepsilon =$ | 10,5 |                  |
| Коефіцієнт надлишку повітря          | $\alpha =$      | 1,47 |                  |
| Число циліндрів                      | $i =$           | 6    |                  |
| Коефіцієнт тактності                 | $z =$           | 4    |                  |

### 2. Вихідні дані для теплового розрахунку.

|                                                        |                             |        |                                   |
|--------------------------------------------------------|-----------------------------|--------|-----------------------------------|
| Тиск наддуву                                           | $P_b =$                     | 205    | кПа                               |
| Тиск навколишнього середовища                          | $P_a =$                     | 100    | кПа                               |
| Температура навколишнього середовища                   | $T_a =$                     | 298    | К                                 |
| Показник політропи стиску для відцентрового компресора | $n_k =$                     | 1,6    |                                   |
| Підігрів свіжого заряду                                | $\Delta T =$                | 10     | К                                 |
| Тиск залишкових газів                                  | $p_r =$                     | 195    | кПа                               |
| Температура залишкових газів                           | $T_r =$                     | 820    | К                                 |
| Ступінь підвищення тиску                               | $\lambda =$                 | 2,5    |                                   |
| Середнє значення показника політропи:                  |                             |        |                                   |
| стиску                                                 | $n_1 =$                     | 1,34   |                                   |
| розширення                                             | $n_2 =$                     | 1,23   |                                   |
| Коефіцієнт використання теплоти в точці "Z"            | $\xi_z =$                   | 0,8    |                                   |
| Коефіцієнт повноти індикаторної діаграми               | $\xi =$                     | 0,955  |                                   |
| Нижча теплота згорання генераторного газу              | $Q_H =$                     | 5060,1 | кДж/м <sup>3</sup>                |
| Склад генераторного газу:                              | В об'ємних долях            |        |                                   |
| метан                                                  | $\text{CH}_4 =$             | 2      | $r_{\text{CH}_4} = 0,02$          |
| 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                                           | $\text{CO}_2 =$             | 11     | $r_{\text{CO}_2} = 0,11$          |
| оксид вуглецю                                          | $\text{CO} =$               | 19     | $r_{\text{CO}} = 0,19$            |
| азот                                                   | $\text{N}_2 =$              | 47,7   | $r_{\text{N}_2} = 0,477$          |

|                      |                          |              |                     |
|----------------------|--------------------------|--------------|---------------------|
| Газова постійна для: | кисню $O_2$              | $R_{O_2} =$  | 259,8 Дж/(кг·град)  |
|                      | азоту $N_2$              | $R_{N_2} =$  | 296,9 Дж/(кг·град)  |
|                      | метану $CH_4$            | $R_{CH_4} =$ | 519,6 Дж/(кг·град)  |
|                      | вуглекислого газу $CO_2$ | $R_{CO_2} =$ | 296,9 Дж/(кг·град)  |
|                      | сірководню $H_2S$        | $R_{H_2S} =$ | 244,5 Дж/(кг·град)  |
|                      | водню                    | $R_{H_2} =$  | 4157,0 Дж/(кг·град) |
|                      | оксид вуглецю            | $R_{CO} =$   | 296,9 Дж/(кг·град)  |

### 3. Параметри робочого тіла

Теоретично необхідна кількість повітря для згоряння 1 кмоль газу.

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

$$L_0 = 0,96 \text{ кмоль/кмоль}$$

Загальна кількість продуктів свіжого заряду.

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

$$M_1 = 2,41 \text{ кмоль/кмоль}$$

Кількість окремих компонентів продуктів згоряння.

$$\begin{aligned} \text{Кількість } CO_2: \quad M_{CO_2} &= CO + \sum (nC_n H_m + CO_2) \text{ кмоль} \\ M_{CO_2} &= 0,76 \text{ кмоль} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Кількість } H_2O: \quad M_{H_2O} &= H_2 + \sum (0.5m C_n H_m), \text{ кмоль} \\ M_{H_2O} &= 0,04 \text{ кмоль} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Кількість } O_2: \quad M_{O_2} &= 0.21 \times (\alpha - 1) \times L_0, \text{ кмоль} \\ M_{O_2} &= 0,0949 \text{ кмоль} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Кількість } N_2: \quad M_{N_2} &= 0.79 \times \alpha \times L_0 + N_2 \text{ кмоль} \\ M_{N_2} &= 1,594 \text{ кмоль} \end{aligned}$$

Загальна кількість продуктів згоряння.

$$M_2 = M_{CO_2} + M_{H_2O} + M_{O_2} + M_{N_2}, \text{ кмоль/кг} \quad 2,489 \text{ кмоль}$$

Змінення об'єму при згорянні 1 кмоль газу.

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

$$\Delta M = 0,075 \text{ кмоль}$$

Теоретичний коефіцієнт молекулярної зміни.

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

$$\beta_0 = 1,0311$$

#### 4. Параметри процесу наповнення.

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

$$T_B = 390,1 \text{ K}$$

Температура повітря після охолоджувача.

$$T_{\text{int}} = T_B - (50-100 K)$$

$$\text{число з інтервалу} = 60$$

$$\Delta T_{\text{int}} = 330,1 \text{ K}$$

Температура газоповітряної суміші.

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

$$T_{\text{cm}} = 324,2 \text{ K}$$

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

Коефіцієнт залишкових газів.

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

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

$$P_d = 194,8 \text{ кПа}$$

$$\gamma_r = 0,043$$

Коефіцієнт наповнення.

$$\varphi_H = \frac{\epsilon}{\epsilon - 1} \times \frac{P_d}{P_{\epsilon}} \times \frac{T_{\text{cm}}}{T_{\text{cm}} + \Delta T + \gamma_r T_r}$$

$$\varphi_H = 0,92$$

Температура газоповітряної суміші на початку стиску.

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

$$T_d = 354,2 \text{ K}$$

#### 5. Параметри процесу стиску.

Тиск в кінці стиску.

$$p_c = p_d \times \epsilon^{n_1}, \text{кПа}$$

$$p_c = 4548,5 \text{ кПа}$$

Температура в кінці стиску.

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

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

$$mCv_{\text{ch4}} = 12,235 + 5028 \cdot 10^{-5} \cdot t_c$$

$$mCv_{\text{c2h6}} = 7,004 + 12649 \cdot 10^{-5} \cdot t_c$$

$$mCv_{\text{c3h8}} = 14,97 + 17800 \cdot 10^{-5} \cdot t_c$$

$$mCv_{\text{c4h10}} = 93,128 + 11621 \cdot 10^{-5} \cdot t_c$$

$$mCv_{\text{c5h12}} = 118,06 + 14096 \cdot 10^{-5} \cdot t_c$$

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

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

Після підстановки одержимо рівняння.

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

де:

$$a = 13,00$$

$$b = 438,3702$$

мольна теплоємність газоповітряної суміші при постійному об'ємі.

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

Після підстановки одержимо рівняння.

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

де:

$$a = 17,20$$

$$b = 304,97$$

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

середня мольна теплоємність газоповітряної суміші при постійному тиску.

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

Після підстановки одержимо рівняння.

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

де:

$$a = 17,20$$

$$b = 152,49$$

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



$$T_c = 787,8 \text{ K} \quad t_c = 514,8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

6. Параметри процесу згоряння.

Дійсний коефіцієнт молекулярної зміни.

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

$$\beta = 1,0298$$

Максимальна температура циклу знаходиться з рівняння балансу:

$$\frac{\xi \cdot 224 \cdot Q_H}{(1 + \gamma_r) \cdot (1 + \alpha \cdot L_0)} = \beta_z \cdot mCp m_z \cdot t_z - (mCv m_{e_m} + 8.314 \lambda) \cdot t_c$$

склад продуктів згоряння в об'ємних долях:

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

$$R_{CO_2} = 0,3053$$

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

$$R_{H_2O} = 0,0161$$

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

$$R_{O_2} = 0,0381$$

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

$$R_{N_2} = 0,6404$$

Мольна теплоємність продуктів згоряння:

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

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

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

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

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

Після підстановки одержимо рівняння.

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

де:

$$a = 14,29$$

$$b = 320,38$$

3. Тиск повітря перед компресором

$$p_{вс} = p_a - \Delta p_{вс}$$

$$p_{вс} = 98,5 \quad \text{кПа}$$

4. Ступінь підвищення тиску в турбокомпресорі

$$\pi_{\kappa} = \frac{p_{\kappa}}{p_{вс}}$$

$$\pi_{\kappa} = 2,13$$

5. Масова витрата газоповітряної суміші через компресор

$$G_{ГПС} = (1 + \alpha \cdot L_0) \cdot B \cdot \frac{P_0}{T_{\Gamma}} \cdot \left( \frac{r_{o2}}{R_{o2}} + \frac{r_{CH4}}{R_{CH4}} + \frac{r_{N2}}{R_{N2}} + \frac{r_{H2}}{R_{H2}} + \frac{r_{CO2}}{R_{CO2}} + \frac{r_{CO}}{R_{CO}} \right)$$

$$G_{ГПС} = 3128,1 \quad \text{кг/год}$$

6. Густина газоповітряної суміші

$$\rho = \frac{G_{ГПС}}{(1 + \alpha \cdot L_0) \cdot B}$$

$$\rho = 0,860 \quad \text{кг/м}^3$$

7. Обємна витрата газоповітряної суміші

$$V_{ГПС} = \frac{G_{ГПС}}{\rho}$$

$$V_{ГПС} = 3637,7 \quad \text{м}^3/\text{год}$$

$$D_{\text{пр}} = 0,26 \text{ м}$$

$$m = 1,307692$$

$$d = 260,1 \text{ мм}$$

Хід поршня.

$$S = m \times D, \text{ мм}$$

$$S = 340,1 \text{ мм}$$

11 Уточнені розміри циліндра і двигуна.

Діаметр циліндра.

$$D = 260 \text{ мм}$$

Хід поршня.

$$S = 340 \text{ мм}$$

Літраж двигуна.

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

$$V_{st} = 108,25 \text{ л}$$

Робочий об'єм ходу поршня.

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

$$V_s = 18,04 \text{ л}$$

Ефективна потужність двигуна.

$$P_{ep} = \frac{P_{me} \cdot V_{st} \cdot n}{30 \cdot Z \cdot 10^3}, \text{ кВт}$$

$$P_{ep} = 719,5 \text{ кВт}$$

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

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

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

$$P_{eep} = 719,7 \text{ кВт}$$

$$\Delta P_e = 0,08 \%$$

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

Розрахунок параметрів турбокомпресора

1. Тиск газоповітряної суміші після турбокомпресора знаходимо по формулі

$$p_k = 210 \text{ кПа}$$

$$p_k = p_b + \Delta p_{огтс}, \text{ де}$$

$\Delta p_{огтс}$  – втрата тиску в охолоджувачі газоповітряної суміші

$$\Delta p_{огтс} = 5 \text{ кПа}$$

2. Втрата тиску повітря у фільтру - глушнику та змішувальній камері.

$$\Delta p_{ec} = 1,5 \text{ кПа}$$

$$V_{П.СР.} = \frac{S_{ПР.} \times n}{30}, M/C \quad V_{П.СР.} \text{ кПа}$$

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

$$V_{П.СР.} = 8,50 \quad \text{м/с}$$

$$p_m = 233,8 \quad \text{кПа}$$

Середній ефективний тиск.

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

$$P_{me} = 1063,36 \quad \text{кПа}$$

Механічний К.К.Д.

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

$$\eta_M = 0,82$$

Ефективний К.К.Д.

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

$$\eta_e = 0,340$$

Питома ефективна витрата газу.

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

$$b_e = 2,093 \text{ м}^3 / (\text{кВт} \cdot \text{год})$$

Годинна витрата газу.

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

$$B = 1506,9 \text{ м}^3 / \text{год}$$

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.

$$V_{st} = 108,34 \text{ Л}$$

Робочий об'єм циліндра.

$$V_s = \frac{V_{st}}{i}, \text{ Л}$$

$$V_s = 18,06 \text{ Л}$$

Діаметр циліндра.

$$D = 100 \times \sqrt{\frac{4 \times V_s}{\pi \times m}}, \text{ мм} \quad m = \frac{S_{ПР}}{d_{ПР}}$$

$\delta$  = кінці розширення.

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

$$p_b = 618,8 \text{ кПа}$$

Температура в кінці розширення.

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

$$T_b = 1092,9 \text{ К}$$

Середня температура випускних газів.

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

$$T_{\text{ср.г.}} = 866,7 \text{ К}$$

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

Температура залишкових газів.

$$T_r = \frac{T_b}{\sqrt{\frac{P_b}{P_r}}}$$

$$T_r = 743,7 \text{ К}$$

$$\frac{|T_r^3 - T_r|}{T_r^3} \times 100 \% \quad 3,50 \quad \%$$

Перевірка:

8. Індикаторні показники робочого процесу.

Середній теоретичний індикаторний тиск.

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

$$P_{mi} = 1297,16 \text{ кПа}$$

Індикаторний ККД.

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

$$\eta_i = 0,41$$

Питома індикаторна витрата газу.

$$b_i = \frac{3600}{Q_H \times \eta_i}, \text{ м}^3 / (\text{кВт} \cdot \text{год})$$

$$b_i = 1,72 \text{ м}^3 / (\text{кВт} \cdot \text{год})$$

9 Ефективні показники робочого циклу.

Середній тиск механічних втрат.

$$mCp_z = 8.314 + 19.86 + \frac{1.68}{\alpha} + \left( 427.38 + \frac{184.36}{\alpha} \right) \cdot 10^{-5} t_z$$

$$a = 29,317$$

$$b = 552,795$$

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

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

$$a = 29,317$$

$$b = 276,397$$

Максимальна температура процесу згоряння.

Після підстановки одержимо квадратне рівняння.

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

де:

$$A = 284,631$$

$$B = 30,190$$

$$C = 55743,06 \quad 81263,2$$

Звідки:

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

$$t_z = 1603,9 \text{ C} \quad T_z = 1876,9 \text{ K}$$

Максимальний тиск згоряння.

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

$$p_{\max} = 11159,2 \text{ кПа}$$

Ступінь підвищення тиску

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

$$\lambda = 2,45$$

$$\Delta\lambda = 1,87 \%$$

$\Delta\lambda$  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.

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

### 2.3.1 Розрахунок та побудова індикаторної діаграми

Розрахунок теоретичної індикаторної діаграми робочого циклу газового двигуна 6ГЧН26/34 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         | 1,17     |
| 2. Тиск в кінці стиску             | $p_c$         | МПа         | 4,55     |
| 3. Показник політропи стиску       | $n_1$         | -           | 1,37     |
| 4. Ступінь стиску                  | $\varepsilon$ | -           | 10,5     |
| 5. Максимальний тиск згоряння      | $p_{max}$     | МПа         | 11,16    |
| 6. Показник політропи розширення   | $n_2$         | -           | 1,25     |
| 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

$$p_{ct} = p_c / (V/V_c)^{n_1}, \text{ МПа} \quad (2.1)$$

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

Форму лінії розширення знаходимо по формулі

$$p_{roz} = p_{max} \rho^{n_2} / (V/V_c)^{n_2} = p_{max} / (V/V_c)^{n_2}, \text{ МПа} \quad (2.2)$$

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

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 142.44.22.06 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                          |      |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          | 28   |

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       | 4,55          | 91,0         | 11,16          | 223,2         |
| 1,25    | 3,506         | 70,1         | 8,285          | 165,7         |
| 1,75    | 2,211         | 44,2         | 5,44           | 108,8         |
| 2,0     | 1,842         | 36,8         | 4,604          | 92,1          |
| 2,5     | 1,357         | 27,1         | 3,483          | 69,7          |
| 3,0     | 1,057         | 21,1         | 2,773          | 55,5          |
| 4,0     | 0,712         | 14,2         | 1,936          | 38,7          |
| 5,5     | 0,461         | 10,2         | 1,3            | 26,0          |
| 7,0     | 0,331         | 6,6          | 0,962          | 19,2          |
| 9,2     | 0,254         | 5,1          | 0,754          | 15,1          |
| 9,5     | 0,218         | 4,4          | 0,657          | 13,1          |
| 10,5    | 0,21          | 4,0          | 0,606          | 12,1          |

## 2.3.2 Побудова дійсної індикаторної діаграми для газового двигуна 6ГЧН26/34.

Дійсну індикаторну діаграму будуємо 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  $\Delta\varphi_1 = 10^\circ \text{ПКВ}$ .

$\Delta\varphi_2 = 10^\circ \text{ПКВ}$ - 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.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 142.44.22.06 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                          | 29   |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |



### 2.3.3 Вихідні дані для побудови дійсної індикаторної діаграми

1. Кривошипно-шатунне відношення  $\lambda = R/L = 0,17/0,69 = 0,246$
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  $p_r = 0,180$  МПа
5. Масштаб тиску  $m_p = 0,05$  МПа/мм
6. Хід поршня  $S = 0,34$  м
7. Тиск в кінці стиску  $p_c = 4,55$  МПа
8. Максимальний тиск  $p_{\max} = 11,16$  МПа

Розрахунок координат характерних точок індикаторної діаграми приведений в таблиці 2.4

Таблиця 2.4 Координати характерних точок індикаторної діаграми

| $\varphi$ , ПКВ | Положення точки<br>відносно ВМТ, $\varphi$<br>ПКВ | Постійна $X = (1 - \cos\varphi) + 0,25\lambda(1 - \cos 2\varphi)$ | Відстань від<br>ВМТ до точки<br>$X(AB)/2$ , мм |
|-----------------|---------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| с, до ВМТ       | 30                                                | 0,1647                                                            | 19,6                                           |
| f, до ВМТ       | 20                                                | 0,073                                                             | 8,6                                            |
| b, після ВМТ    | 130                                               | 1,897                                                             | 225,2                                          |
| r', до ВМТ      | 20                                                | 0,073                                                             | 8,6                                            |
| r'', після ВМТ  | 30                                                | 0,1647                                                            | 19,6                                           |
| d, до ВМТ       | 150                                               | 1,8968                                                            | 225,2                                          |

Ордината точки  $r''$   $p_r/m_p = 0,195/0,05 = 3,9$  мм

Тиск газів у ВМТ  $p_c' = 1,2p_c = 1,24,55 = 5,5$  МПа;  $p_c'/m_p = 5,5/0,05 = 110$  мм.

Максимальний тиск згоряння  $p_{zd} = 0,85p_{\max} = 0,8511,16 = 9,2$  МПа

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 142.44.22.06 ПЗ | Лист |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          | 30   |

$$p_{zd}/m_p = 9,2/0,05 = 184 \text{ мм.}$$

$$\text{Поправка Брікса } OO_1 = R\lambda_l/2 = 1700,246/2 = 20,9 \text{ мм}$$

$$\text{Маштаб переміщення } m_s = S/AB = 340/237,5 = 1,43 \text{ мм/мм}$$

Поправка Брікса в масштабі переміщення

$$OO_1 = OO_1/m_s = 20,9/1,43 = 14,6 \text{ мм.}$$

|      |      |          |        |      |                           |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПІННІ НУК 142.44.22.06 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                           | 31   |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                           |      |

## 2.4 Розрахунок теплового балансу

Вихідні дані:

|                                                               |                |                     |
|---------------------------------------------------------------|----------------|---------------------|
| ефективна потужність двигуна                                  | $P_e =$        | 719,5 кВт           |
| частота обертання колінвалу                                   | $n = n =$      | 750 хв-1            |
| діаметр циліндру                                              | $d = D =$      | 250 мм              |
| хід поршня:                                                   | $S =$          | 340 мм              |
| число циліндрів:                                              | $i =$          | 6                   |
| коефіцієнт тактності:                                         | $Z =$          | 4                   |
| нижча теплота згорання газу:                                  | $Q_H =$        | 5060,1 кДж/кг       |
| годинна витрата газу:                                         | $B_r =$        | 1506,9 $m^3 / год$  |
| Індикаторний к.к.д.:                                          | $h \eta_i =$   | 0,41                |
| ефективний к.к.д.:                                            | $h_e \eta_e =$ | 0,34                |
| кількість свіжого заряду                                      | $M_l =$        | 2,414 кмоль/кг      |
| загальна кількість продуктів згорання                         | $M_r =$        | 2,489 кмоль/кг      |
| температура випускних газів                                   | $T_{ср.г.} =$  | 866,7 К             |
| температура на початку стиску                                 | $T_d =$        | 354,2 К             |
| мольна теплоємність продуктів згорання при постійному об'ємі: | $mC''_v =$     | 25,76 кДж/(кмоль*К) |
| мольна теплоємність свіжого заряду при постійному об'ємі:     | $mC'_v =$      | 21,88 кДж/(кмоль*К) |
| середній індикаторний тиск:                                   | $P_{mi} =$     | 1297,2 кПа          |

Рівняння теплового балансу.

Загальна кількість теплоти, введеної в двигун з паливом

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

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

Теплота, яка підводиться в циліндр двигуна з паливом:

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

$$Q_{II} = 2118,1 \text{ кВт}$$

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

Теплота, еквівалентна ефективній роботі двигуна:

$$Q_e = 1000 \cdot P_e$$

$$Q_e = 719,5 \text{ кВт}$$

у відсотковому відношенні

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

$$q = 34,0 \%$$

Перевірка:  $Q'_e = Q_n \cdot \eta_e$

$$Q'_e = 720 \text{ кВт}$$

Вирахуємо похибку

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

$$\Delta = -0,08 \%$$

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.

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

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

З експериментальних даних:

$$W_{нап.} = 0 \quad W_{г.р.} = 0,09-0,16 \quad 0,14$$

$$W_{ст.} = 0 \quad W_{вип.} = 0,01-0,05 \quad 0,04$$

$$Q_w = 381,3 \text{ кВт}$$

Теплота, еквівалентна роботі на тертя поршня по гільзі циліндра.

Середній тиск механічних втрат в механізмах двигуна.

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

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

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

$$C_m = 8,5 \text{ м/с}$$

$$P_{мд} = 188,3 \text{ кПа}$$

Середній тиск тертя поршня:

$$P_{ср.т.} = 0,6 \cdot P_{мд}$$

$$P_{ср.т.} = 112,98 \text{ кПа}$$

Потужність тертя поршнів двигуна:

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

де  $V_s$ - робочий об'єм циліндру.

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

$$V_s = 0,0167 \text{ м}^3$$

$$P_n = 70,7 \text{ кВт}$$

Теплота, еквівалентна роботі тертя поршнів:

$$Q_{T.П.} = P_{П.}$$

$$Q_{T.П.} = 70,7 \text{ кВт}$$

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

$$Q_B = Q_W + Q_{T.П.}$$

$$Q'_B = 451,9 \text{ кВт}$$

тоді витрата охолоджуючої рідини:

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

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

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

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

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

$$\Delta T_e = 10 \text{ К}$$

$$V_B = 0,0162 \text{ м}^3/\text{с}$$

Потужність, яка використовується на привід водяного насосу.

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

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

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

$$\eta_{в.н.} = 0,65$$

$$P_{в.н.} = 2,44 \text{ кВт}$$

$$\text{Тоді} \quad Q_{в.н.} = 2,44 \text{ кВт}$$

Загальна кількість теплоти, яка відводиться охолоджувальною рідиною.

$$Q_e = Q_W + Q_{T.П.} + Q_{в.н.}$$

$$Q_B = 454,4 \text{ кВт}$$

що складає у відсотковому відношенні:

$$q_e = Q_e / Q_{П.} \cdot 100\%$$

$$q_B = 21,45 \%$$

Теплота, яка виноситься випускними газами:

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

$$P_{M.H.} = 2,71 \text{ кВт}$$

$$\text{тоді } Q_{H2} = 1000 \cdot P_{MH}$$

$$Q_{M2} = 2,7 \text{ кВт}$$

Загальна кількість теплоти складає:

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

$$Q_M = 57,1 \text{ кВт}$$

у відсотковому відношенні

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

$$q_M = 2,70 \%$$

Невраховані теплові втрати

$$Q_{H.B.} = Q_{IT} - (Q_e + Q_g + Q_{\text{ра}} + Q_M)$$

$$Q_{H.B.} = 59,0 \text{ кВт}$$

що складає у відсотковому відношенні:

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

$$q_{H.B.} = 2,78 \%$$

Всі отримані дані зведені в таблицю 2.5

Таблиця 2.5 Тепловий баланс газового двигуна 6ГЧН26/34

| Складові теплового балансу                              | кВт    | %    |
|---------------------------------------------------------|--------|------|
| теплота, еквівалентна ефективній роботі                 | 719,5  | 34,0 |
| теплота, яка відводиться охолоджувальною рідиною        | 454,4  | 21,5 |
| теплота, яка виноситься випускними газами               | 828,2  | 39,1 |
| теплота, яка відводиться маслом                         | 57,1   | 2,7  |
| невраховані теплові втрати                              | 59,0   | 2,8  |
| Загальна кількість теплоти, введеної в двигун з паливом | 2118,1 | 100  |

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

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

$$m\bar{C}_p'' = 32,51 \text{ кДж/(кмоль} \cdot \text{K)}$$

$$mC_p' = 30,19 \text{ кДж/(кмоль} \cdot \text{K)}$$

$$Q_{\Gamma} = 828,2 \text{ кВт}$$

Що складає у відсотковому відношенні:

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

$$q_{\Gamma} = 39,10 \%$$

Теплота, яка відводиться маслом і затрачується на привід масляного насоса

Теплота, яка відводиться маслом, від гарячих деталей двигуна.

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

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

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

$$\Delta_{\text{МД}} = 0,0602$$

тоді

$$Q_{\text{МД}} = 127,5 \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{М1}} = 54,4 \text{ кВт}$$

Теплота, еквівалентна роботі на привід насоса системи мащення.

Витрата циркуляційного масла.

$$V_{\text{М}} = \frac{\kappa \cdot Q_{\text{М1}}}{\rho_{\text{М}} \cdot C_{\text{тм}} \cdot \Delta T_{\text{М}}}$$

$\kappa = 1,2 - 1,5$  - коефіцієнт запасу

$\kappa = 1,5$

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

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

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

$$\Delta T_{\text{М}} = 8 \text{ К}$$

$$V_{\text{М}} = 0,0054 \text{ м}^3/\text{с}$$

потужність, яка використовується на привід масляного насоса:

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

де  $p_0 = (0,3 - 0,4) \cdot 10^6 \text{ Па}$  - робочий тиск масла в системі.

$$p_0 = 350000 \text{ Па}$$

$\eta_{\text{М}} = 0,7 - 0,9$  - механічний к.к.д. масляного насоса.

$$\eta_{\text{М}} = 0,7$$

## 2.5 Аналіз індикаторних та ефективних показників газового двигуна 6ГЧН26/34

Для проведення аналізу індикаторних та ефективних показників запроектованого газового двигуна 6ГЧН26/34 складаємо порівняльну таблицю параметрів двигуна – прототипу та запроектованого.

Таблиця 2.6 Основні параметри двигуна - прототипу 6ГЧН26/34 та запроектованого

| Найменування параметра                                                  | Значення                       |                  |
|-------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|------------------|
|                                                                         | 6ГЧН26/34<br>(двигун-прототип) | 6ГЧН26/34        |
| Тип двигуна                                                             | 6ГЧН26/34<br>(двигун-прототип) | 6ГЧН26/34        |
| Номінальна ефективна потужність, $P_e$ , кВт                            | 670                            | 720              |
| Номінальна частота обертання колінчастого валу, $n$ , хв. <sup>-1</sup> | 750                            | 750              |
| Ступінь стиску, $\epsilon$                                              | 10,5                           | 10,5             |
| Коефіцієнт надлишку повітря, $\alpha$                                   | 1,7                            | 1,47             |
| Тиск наддуву, $p_b$ , МПа                                               | 0,18                           | 0,205            |
| Паливо, що споживається для роботи дизеля                               | Природний газ                  | Генераторний газ |
| Нижча теплота згоряння палива $Q_H$ , кДж/м <sup>3</sup>                | 34500                          | 5060             |
| Максимальна температура циклу, $T_z$ , К                                | 1900                           | 1877             |
| Максимальний тиск згоряння, $p_{max}$ , МПа                             | 10                             | 11,16            |
| Середній індикаторний тиск, $p_i$ , МПа                                 | 1,13                           | 1,297            |
| Індикаторний ККД циклу, $\eta_i$                                        | 0,43                           | 0,41             |
| Питома індикаторна витрата палива, $b_i$ , м <sup>3</sup> /(кВтгод)     | 0,25                           | 1,72             |
| Механічний ККД двигуна, $\eta_m$                                        | 0,88                           | 0,82             |
| Ефективний ККД циклу, $\eta_e$                                          | 0,372                          | 0,34             |
| Середній ефективний тиск, $p_{me}$ , МПа                                | 0,99                           | 1,063            |
| Питома витрата палива, $b_e$ , м <sup>3</sup> /кВтгод                   | 0,30                           | 2,093            |



Із аналізу індикаторних та ефективних параметрів робочого циклу газового двигуна – прототипу та запроєктованого двигуна 6ГЧН26/34, приведених таблиці 2.6, можна зробити висновок, що збільшення потужності запроєктованого дизеля 6ГЧН26/34 до 720 кВт стало можливим завдяки підвищенню тиску наддуву з 0,18 МПа до 0,205 МПа. Завдяки тому, що нижча теплота згоряння генераторного газу набагато нижча ніж у природного газу, індикаторні та ефективні параметри двигуна запроєктованого є невисокими.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 142.44.22.06 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                          | 38   |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

## 2.6 Динамічний розрахунок двигуна 6ГЧН 26/34.

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

$$F_r = p_{\text{ц}} \pi D^2 / 4, \text{ Н}$$

де  $p_{\text{ц}}$  – 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

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

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

$$F_d = F_r + F_{\text{и}}, \text{ Н}$$

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

$$F_N = F_d \tan \beta, \text{ Н}$$

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

Радіальна сила, що діє на коліно колінчастого валу

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

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

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

Динамічний розрахунок двигуна 6ГЧН 26/34 виконується в табличній формі по таким вихідним даним:

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 142.44.22.06 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                          | 39   |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

- а) діаметр поршня  $D = 0,26\text{м}$
- б) частота обертання колінчастого валу  $n = 750 \text{ хв}^{-1}$
- в) Ордината прийнята для  $p_{\max}$   $h_{\max} = 223,2 \text{ мм}$
- г) Максимальний тиск згоряння  $p_{\max} = 11,16 \text{ МПа}$
- д) кривошипно- шатунне відношення  $\lambda = R/L = 0,17/0,69 = 0,246$
- э) масштаб індикаторної діаграми  $m_p = 0,05 \text{ МПа/мм}$
- ж) маса деталей, що рухаються зворотно – поступально  
 $m_s = 95,6 \text{ кг}$
- з) радіус кривошипу  $R = 0,17\text{м}$
- л) кут максимального тиску  $\Delta\varphi = 10^\circ$
- к) кутова швидкість колінчастого валу  $\omega = \pi n/30 =$   
 $= 3,14750/30 = 78,5 \text{ рад/с.}$

Динамічний розрахунок двигуна виконаний в табличній формі.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 142.44.22.06 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                          | 40   |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

Таблиця 2.7 Результати динамічного розрахунку.

| $\varphi^{\circ}$ | РЦ    | ГГ     | Гн      | Гд      | Г <sub>Н</sub> | Г <sub>р</sub> | Г <sub>к</sub> | Г <sub>г</sub> | Г <sub>и</sub> | Г <sub>д</sub> | Г <sub>Н</sub> | Г <sub>р</sub> | Г <sub>к</sub> |
|-------------------|-------|--------|---------|---------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| ПКВ               | мм    | кН     | кН      | кН      | кН             | кН             | кН             | мм             | мм             | мм             | мм             | мм             | мм             |
| 0                 | 4,0   | 9,81   | -124,79 | -114,97 | 0,00           | -114,97        | 0,00           | 4,0            | -50,9          | -46,9          | 0,0            | -46,9          | 0,0            |
| 15                | 4,0   | 9,81   | -118,07 | -108,26 | -6,91          | -102,78        | -34,69         | 4,0            | -48,1          | -44,1          | -2,8           | -41,9          | -14,1          |
| 30                | 4,0   | 9,81   | -99,05  | -89,24  | -11,06         | -71,75         | -54,20         | 4,0            | -40,4          | -36,4          | -4,5           | -29,2          | -22,1          |
| 45                | 4,0   | 9,81   | -70,82  | -61,00  | -10,78         | -35,52         | -50,76         | 4,0            | -28,9          | -24,9          | -4,4           | -14,5          | -20,7          |
| 60                | 4,0   | 9,81   | -37,76  | -27,94  | -6,09          | -8,70          | -27,25         | 4,0            | -15,4          | -11,4          | -2,5           | -3,5           | -11,1          |
| 75                | 4,0   | 9,81   | -4,58   | 5,23    | 1,28           | 0,12           | 5,38           | 4,0            | -1,9           | 2,1            | 0,5            | 0,0            | 2,2            |
| 90                | 4,0   | 9,81   | 24,64   | 34,45   | 8,74           | -8,74          | 34,45          | 4,0            | 10,0           | 14,0           | 3,6            | -3,6           | 14,0           |
| 105               | 4,0   | 9,81   | 47,26   | 57,07   | 13,96          | -28,26         | 51,51          | 4,0            | 19,3           | 23,3           | 5,7            | -11,5          | 21,0           |
| 120               | 4,0   | 9,81   | 62,39   | 72,21   | 15,74          | -49,74         | 54,66          | 4,0            | 25,4           | 29,4           | 6,4            | -20,3          | 22,3           |
| 135               | 4,0   | 9,81   | 70,82   | 80,63   | 14,24          | -67,08         | 46,94          | 4,0            | 28,9           | 32,9           | 5,8            | -27,3          | 19,1           |
| 150               | 4,0   | 9,81   | 74,41   | 84,23   | 10,44          | -78,16         | 33,07          | 4,0            | 30,3           | 34,3           | 4,3            | -31,9          | 13,5           |
| 165               | 4,0   | 9,81   | 75,40   | 85,21   | 5,44           | -83,72         | 16,80          | 4,0            | 30,7           | 34,7           | 2,2            | -34,1          | 6,8            |
| 180               | 4,0   | 9,81   | 75,51   | 85,32   | 0,00           | -85,32         | 0,00           | 4,0            | 30,8           | 34,8           | 0,0            | -34,8          | 0,0            |
| 195               | 4,0   | 9,81   | 75,40   | 85,21   | -5,44          | -83,72         | -16,80         | 4,0            | 30,7           | 34,7           | -2,2           | -34,1          | -6,8           |
| 210               | 4,1   | 10,06  | 74,41   | 84,47   | -10,47         | -78,39         | -33,17         | 4,1            | 30,3           | 34,4           | -4,3           | -32,0          | -13,5          |
| 225               | 4,5   | 11,04  | 70,82   | 81,86   | -14,46         | -68,10         | -47,66         | 4,5            | 28,9           | 33,4           | -5,9           | -27,8          | -19,4          |
| 240               | 5,1   | 12,51  | 62,39   | 74,90   | -16,33         | -51,60         | -56,70         | 5,1            | 25,4           | 30,5           | -6,7           | -21,0          | -23,1          |
| 255               | 5,9   | 14,47  | 47,26   | 61,73   | -15,10         | -30,56         | -55,72         | 5,9            | 19,3           | 25,2           | -6,2           | -12,5          | -22,7          |
| 270               | 7,5   | 18,40  | 24,64   | 43,04   | -10,92         | -10,92         | -43,04         | 7,5            | 10,0           | 17,5           | -4,5           | -4,5           | -17,5          |
| 285               | 10,3  | 25,27  | -4,58   | 20,68   | -5,06          | 0,47           | -21,29         | 10,3           | -1,9           | 8,4            | -2,1           | 0,2            | -8,7           |
| 300               | 15,0  | 36,80  | -37,76  | -0,96   | 0,21           | -0,30          | 0,94           | 15,0           | -15,4          | -0,4           | 0,1            | -0,1           | 0,4            |
| 315               | 23,9  | 58,63  | -70,82  | -12,19  | 2,15           | -7,09          | 10,14          | 23,9           | -28,9          | -5,0           | 0,9            | -2,9           | 4,1            |
| 330               | 42,4  | 104,01 | -99,05  | 4,96    | -0,62          | 3,99           | -3,01          | 42,4           | -40,4          | 2,0            | -0,3           | 1,6            | -1,2           |
| 345               | 73,7  | 180,80 | -118,07 | 62,72   | -4,00          | 59,55          | -20,10         | 73,7           | -48,1          | 25,6           | -1,6           | 24,3           | -8,2           |
| 360               | 114,2 | 280,15 | -124,79 | 155,36  | 0,00           | 155,36         | 0,00           | 114,2          | -50,9          | 63,3           | 0,0            | 63,3           | 0,0            |

| Таблица 2. 7      продовження |       |        |         |         |        |         |        |       |       |       |      |       |       |
|-------------------------------|-------|--------|---------|---------|--------|---------|--------|-------|-------|-------|------|-------|-------|
| <b>375</b>                    | 180,0 | 441,56 | -118,07 | 323,49  | 20,64  | 307,13  | 103,66 | 180,0 | -48,1 | 131,9 | 8,4  | 125,2 | 42,3  |
| <b>390</b>                    | 105,8 | 259,54 | -99,05  | 160,49  | 19,89  | 129,04  | 97,47  | 105,8 | -40,4 | 65,4  | 8,1  | 52,6  | 39,7  |
| <b>405</b>                    | 63,5  | 155,77 | -70,82  | 84,96   | 15,01  | 49,46   | 70,69  | 63,5  | -28,9 | 34,6  | 6,1  | 20,2  | 28,8  |
| <b>420</b>                    | 41,0  | 100,58 | -37,76  | 62,82   | 13,70  | 19,55   | 61,25  | 41,0  | -15,4 | 25,6  | 5,6  | 8,0   | 25,0  |
| <b>435</b>                    | 28,8  | 70,65  | -4,58   | 66,07   | 16,16  | 1,49    | 68,00  | 28,8  | -1,9  | 26,9  | 6,6  | 0,6   | 27,7  |
| <b>450</b>                    | 21,8  | 53,48  | 24,64   | 78,11   | 19,83  | -19,83  | 78,11  | 21,8  | 10,0  | 31,8  | 8,1  | -8,1  | 31,8  |
| <b>465</b>                    | 17,3  | 42,44  | 47,26   | 89,70   | 21,94  | -44,41  | 80,96  | 17,3  | 19,3  | 36,6  | 8,9  | -18,1 | 33,0  |
| <b>480</b>                    | 14,0  | 34,34  | 62,39   | 96,74   | 21,09  | -66,64  | 73,23  | 14,0  | 25,4  | 39,4  | 8,6  | -27,2 | 29,9  |
| <b>495</b>                    | 12,4  | 30,42  | 70,82   | 101,23  | 17,88  | -84,23  | 58,94  | 12,4  | 28,9  | 41,3  | 7,3  | -34,3 | 24,0  |
| <b>510</b>                    | 10,6  | 26,00  | 74,41   | 100,42  | 12,45  | -93,19  | 39,43  | 10,6  | 30,3  | 40,9  | 5,1  | -38,0 | 16,1  |
| <b>525</b>                    | 9,2   | 22,57  | 75,40   | 97,97   | 6,25   | -96,25  | 19,32  | 9,2   | 30,7  | 39,9  | 2,5  | -39,2 | 7,9   |
| <b>540</b>                    | 7,4   | 18,15  | 75,51   | 93,67   | 0,00   | -93,67  | 0,00   | 7,4   | 30,8  | 38,2  | 0,0  | -38,2 | 0,0   |
| <b>555</b>                    | 4,7   | 11,53  | 75,40   | 86,93   | -5,55  | -85,40  | -17,14 | 4,7   | 30,7  | 35,4  | -2,3 | -34,8 | -7,0  |
| <b>570</b>                    | 4,1   | 10,06  | 74,41   | 84,47   | -10,47 | -78,39  | -33,17 | 4,1   | 30,3  | 34,4  | -4,3 | -32,0 | -13,5 |
| <b>585</b>                    | 3,7   | 9,08   | 70,82   | 79,89   | -14,11 | -66,47  | -46,51 | 3,7   | 28,9  | 32,6  | -5,8 | -27,1 | -19,0 |
| <b>600</b>                    | 3,5   | 8,59   | 62,39   | 70,98   | -15,48 | -48,89  | -53,73 | 3,5   | 25,4  | 28,9  | -6,3 | -19,9 | -21,9 |
| <b>615</b>                    | 3,5   | 8,59   | 47,26   | 55,84   | -13,66 | -27,65  | -50,40 | 3,5   | 19,3  | 22,8  | -5,6 | -11,3 | -20,5 |
| <b>630</b>                    | 3,5   | 8,59   | 24,64   | 33,22   | -8,43  | -8,43   | -33,22 | 3,5   | 10,0  | 13,5  | -3,4 | -3,4  | -13,5 |
| <b>645</b>                    | 3,5   | 8,59   | -4,58   | 4,00    | -0,98  | 0,09    | -4,12  | 3,5   | -1,9  | 1,6   | -0,4 | 0,0   | -1,7  |
| <b>660</b>                    | 3,5   | 8,59   | -37,76  | -29,17  | 6,36   | -9,08   | 28,44  | 3,5   | -15,4 | -11,9 | 2,6  | -3,7  | 11,6  |
| <b>675</b>                    | 3,5   | 8,59   | -70,82  | -62,23  | 10,99  | -36,23  | 51,78  | 3,5   | -28,9 | -25,4 | 4,5  | -14,8 | 21,1  |
| <b>690</b>                    | 3,5   | 8,59   | -99,05  | -90,46  | 11,21  | -72,74  | 54,94  | 3,5   | -40,4 | -36,9 | 4,6  | -29,7 | 22,4  |
| <b>705</b>                    | 3,5   | 8,59   | -118,07 | -109,49 | 6,99   | -103,95 | 35,08  | 3,5   | -48,1 | -44,6 | 2,8  | -42,4 | 14,3  |
| <b>720</b>                    | 3,5   | 8,59   | -124,79 | -116,20 | 0,00   | -116,20 | 0,00   | 3,5   | -50,9 | -47,4 | 0,0  | -47,4 | 0,0   |

## РОЗДІЛ 3. ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ ПОДАЧІ ГЕНЕРАТОРНОГО ГАЗУ

### 3.1 Огляда систем паливостачання газових двигунів

Основними видами моторних палив, використаних в двигунах внутрішнього згорання, є бензин і дизельне паливо різних сортів і марок. Останніми роками в країнах СНД проводяться дослідження у напрямі поліпшення енергетичного забезпечення автомобільного транспорту традиційними паливами шляхом підвищення виходу світлих нафтопродуктів за рахунок глибини переробки нафти і оптимізації якості палива (на жаль, це не відноситься до України, оскільки видобуток нею нафти складає ~ 4 млн. т.). Велику кількість зарубіжних науково-дослідних центрів двигунобудівних фірм проводять дослідження, направлені на рішення завдань забезпечення економії палива і заміни традиційних рідких вуглеводневих палив паливами не нафтового походження.

У зв'язку зі швидко зростаючою дефіцитністю рідких палив нафтового походження і посилюванням світових норм на токсичність вихлопних газів концепція газогенератора представляється одним з кращих варіантів рішення вказаних проблем. Перехід на газове паливо означає децентралізацію принаймні частини паливно-енергетичного комплексу, демонополізацію виробництва пального і зниження капітальних витрат на його виробництво, в якому використовуються традиційні сільськогосподарські машини і механізми.

Проблема використання газів як моторне паливо в двигунах внутрішнього згорання і стаціонарних установках різного призначення багатогранна. Вона виходить за рамки якої-небудь однієї галузі – транспорту, машинобудування, нафтової або газової промисловості.

Переведення двигунів внутрішнього згорання на газ (природний, шахтний, біогаз, генераторний, попутний газ та ін.), дозволяє одночасно вирішувати ряд найважливіших задач:

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 142.44.22.06 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                          | 43   |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

- зниження шкідливої дії відпрацьованих газів на навколишнє середовище;
- скорочення експлуатаційних витрат;
  - вивільнення значної частини традиційних видів моторного палива для використання в тих областях, де їм немає альтернативи;
- заощадження викопних і не поновлювальних природних енергоресурсів.
  - необмежена кількість сировини для перетворення твердих видів палива (деревини, соломи, соняшникової шолухи, антрацитів, кам'яного вугілля, напівкоксу і т.д.), які найбільш актуальні в сільському господарстві.

Рішення цих задач стає для України всього світу все більш актуальним. Основу сьогоденного світового енергобалансу складають саме викопні види палива - нафта, газ, вугілля. На частку первинної енергії, що виробляється АЕС і ГЕС, доводиться менше 10%. Альтернативна енергетика, заснована на використуванні не викопних енергоносіїв, поки що знаходиться на експериментальній стадії. За прогнозами учених, широке комерційне упровадження альтернативних енерготехнологій стане можливим тільки в другій половині ХХІ століття.

Перехід до нових технологій здійснюватиметься через розширення використування газу. Широкомасштабний перевод на газове паливо дизельних двигунів, споживаючих п'яту частину первинних енергоносіїв, є однією з найважливіших умов стійкого розвитку світової економіки. По розрахунках Міжнародного енергетичного агентства (МЕА), в період з 1995 по 2020 рік споживання енергії в світі зросте на 65%.

Конвертування двигунів на газове паливо дозволяє вже найближчим часом і з мінімальними витратами вивести вітчизняні двигуни на рівень вимог "Євро-3". Про це неодноразово заявляли представники машинобудівної промисловості. Крім того, такий якісний стрибок підвищить конкурентоспроможність вітчизняних двигунів на зарубіжних ринках.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 142.44.22.06 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                          | 44   |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

Єдиним економічним стимулом для переведу двигунів на газ (природний, попутний, біогаз, генераторний та ін.) є те, що вартість одного кубічного метра газу значно менша за ціну одного літра дизельного палива. Відсутність інших механізмів державного стимулювання стримує процес. А тим часом, вивільнене природним газом нафтове паливо могло б бути використане для сільського господарства, районів півночі, малої енергетики у видалених районах, тієї частини автотранспортної техніки силових міністерств, яка виконує задачі тилового забезпечення. В магістерській роботі пропонується переобладнати газовий двигун 6ГЧН26/34 для роботи на генераторному газу.

### 3.2 Головні характеристики генераторного газу

Генераторні гази утворюються під час без залишкової газифікації твердого палива. Газифікація твердого палива являє собою хімічний процес, при якому горюча частина палива перетворюється в умовах високих температур в присутності вільного або зв'язаного кисню на горючі гази. Установки, в яких здійснюються газифікація твердого палива, називаються газогенераторами.

В залежності від типу первинної сировини розрізняють такі типи газогенераторів: для пісного палива з незначним виходом летких речовин (кокс, антрацит, пісні вугілля); для бітумінозного палива із значним виходом летких речовин (газові вуглі, бурі вуглі, бітумінозні пісковики); для деревного та торф'яного палива і для відходів мінерального палива (коксовий та вугільний дрібняк, залишки збагачувального виробництва).

За призначенням газогенератори поділяються на стаціонарні та транспортні, а в залежності від місця підведення повітря та відбирання газу – на газогенератори прямого та оберненого процесів. У газогенераторах прямого процесу рух носія кисню та утворення газів проходить знизу доверху. Для газогенераторів оберненого потоку характерним є те, що носій кисню та утворений газ рухаються зверху донизу. Для забезпечення оберненого потоку середня частина таких газогенераторів забезпечується фурмами, через які подається дуття.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 142.44.22.06 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                          | 45   |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |



Таблиця 3.1 Розрахункові характеристики генераторних газів.

| Найменування газу        | Склад за об'ємом, % |                 |                          |                |      |                |                 |                | Q <sub>i</sub><br>,кДж/м <sup>3</sup> | Густина<br>кг/м <sup>3</sup> |
|--------------------------|---------------------|-----------------|--------------------------|----------------|------|----------------|-----------------|----------------|---------------------------------------|------------------------------|
|                          | H <sub>2</sub> S    | CO <sub>2</sub> | Ненасичені<br>вуглеводні | O <sub>2</sub> | CO   | H <sub>2</sub> | CH <sub>4</sub> | N <sub>2</sub> |                                       |                              |
| Коксовий дрібняк         | 0,2                 | 5,0             | -                        | 0,2            | 28,5 | 13,0           | 0,7             | 52,4           | 5300                                  | 1,136                        |
| Антрацит донецький       | 0,2                 | 5,0             | -                        | 0,2            | 27,5 | 13,5           | 0,5             | 52,6           | 5200                                  | 1,135                        |
| Торф машиноформовочний   | 0,1                 | 8,0             | 0,4                      | 0,2            | 28,0 | 15,0           | 3,0             | 45,3           | 6500                                  | 1,121                        |
| Деревина (тріска)        | -                   | 6,5             | 0,4                      | 0,2            | 29,0 | 14,0           | 3,0             | 46,9           | 6500                                  | 1,122                        |
| Водяний газ:<br>із коксу | 0,3                 | 6,5             | -                        | 0,2            | 37,0 | 50,0           | 0,5             | 5,5            | 10300                                 | 0,715                        |
| Із антрациту             | 0,5                 | 6,0             | -                        | 0,2            | 38,5 | 48,0           | 0,5             | 6,3            | 10300                                 | 0,736                        |

### 3.3 Опис системи газообміну двигуна.

Система газообміну (рис.3.1) 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

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 142.44.22.06 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                          |      |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          | 46   |

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

Вказаний комплект призначений для монтажу трубопроводу (блоку) газової апаратури на місці експлуатації, який повинен забезпечувати регулювання подачі газу в двигун, а також дистанційне відкриття і закриття електромагнітних клапанів або їх автоматичне виключення при аварійній зупинці двигуна.

### Змішувач

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

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

При зовнішньому утворенні суміші з метою збереження конструкції кришки циліндра двигуна без змін використовують газоповітряні змішувачі. Найбільше застосування в газових двигунах отримали змішувачі із перехресними 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

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 142.44.22.06 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                          | 47   |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

температуру випускних газів.

Тому в кваліфікаційній роботі розроблена змішувальна камера для даного двигуна. 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.

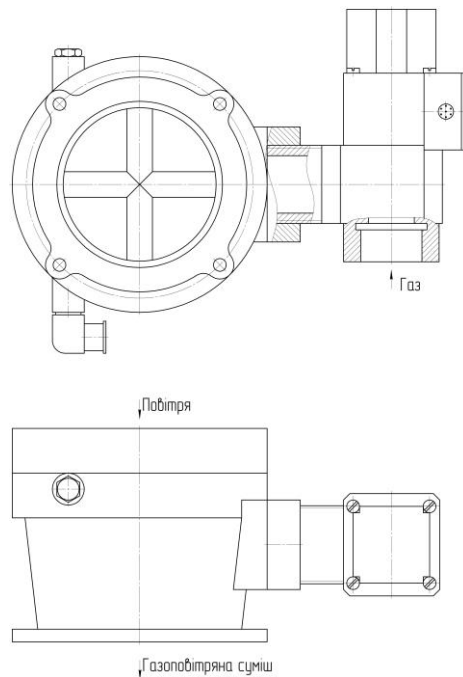


Рисунок 3.1 Змішувач і  $\lambda$ -клапан

Камера змішувача газового двигуна 6ГЧН26/34 (рис.3.1) 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 який встановлена вставка зі змінним перерізом. Газ з газового трубопроводу через електронно-керований  $\lambda$ -клапан поступає в кільцевий простір між корпусом і вставкою, потім через щілину йде на змішування з потоком повітря, і далі у впускний колектор.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 142.44.22.06 ПЗ | Лист |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          | 48   |

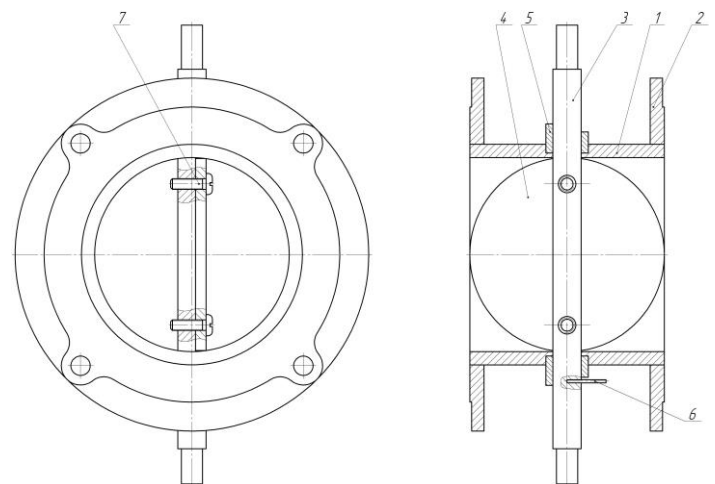
Величина щілини (прохідний перетин) регулюється запрограмованим контролером суміші газ-повітря (залежно від параметрів газоповітряної суміші перед впускним колектором та від частоти обертання колінчастого валу) на місці установки двигун-генератора при здачі його в експлуатацію.

#### Колектор впускний

Впускний колектор є окремим для кожного ряду циліндрів виконаний з труби з привареними патрубками і фланцями, один з котрих закритий з торця заглушкою, по середині патрубків із заслінкою і перехідник приєднаний патрубків турбокомпресора.

Рисунок 3.2 Заслінка

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



#### Заслінка

Заслінка (рис. 3.2) 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.

#### 3.4 Опис газогенераторної установки для отримання газу.

Газогенератор – апарат для отримання газу представляє собою металічний циліндр 5, вимощений в середині цегловою футеровкою 4. Від нижньої основи газогенератора і кілька вище верхніх фурм (отворів для підвода повітря в

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 142.44.22.06 ПЗ | Лист |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          | 49   |

газогенератор) футеровка виконується з вогнеупорної цегли. Інша частина футеровки викладена з звичайного будівельної цеглин, показаного на рис. 1.

Для того щоб деревинне паливо не зависало в шахті газогенератора і плавно опускалося вниз, верхня частина цегляної футеровки газогенератора має форму усіченого конуса, який розширюється до низу донизу. Для шурування у разі зависання деревних чурок, а також для виміру рівня палива в газогенераторі на верхній кришці газогенератора влаштовані два шурувочних отвори, закривається конічними пробками 2.

Простір між кожухом газогенератора і цегляною футеровкою до пояса фурм закладається азбестовим листом, а вище заповнюється дрібним шлаком або піском.

Зверху газогенератора розташоване тепло загрузочний пристрій 1, що складається з циліндричної воронки з кришкою, яка відкривається і закривається при завантаженні палива за допомогою запорної скоби з важелем.

Під завантажувальною воронкою є металевий циліндр з отворами 3. Цей циліндр з отворами служить для більш рівномірного відводу із газогенератора в димову трубу 7 водяних парів, а також для захисту горизонтального патрубку, що йде з газогенератора в димову трубу, від можливого попадання в нього при завантаженні палива.

У середній частині газогенератора в його кожусі і футеровки влаштовані отвори - фурми 11 і 12, через які в газогенератор надходить необхідне для отримання газу повітря.

Газогенератор має чотири ряди фурм. Верхні два ряди фурм 11, числом чотири в кожному ряду, служать для підготовки палива і для додаткової подачі повітря при застосуванні палива підвищеної вологості - більше 20-25%. Нижні два ряди фурм 12 числом по вісім в кожному ряду є робочими фурмами, що подають основне повітря для газифікації палива.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 142.44.22.06 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                          | 50   |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

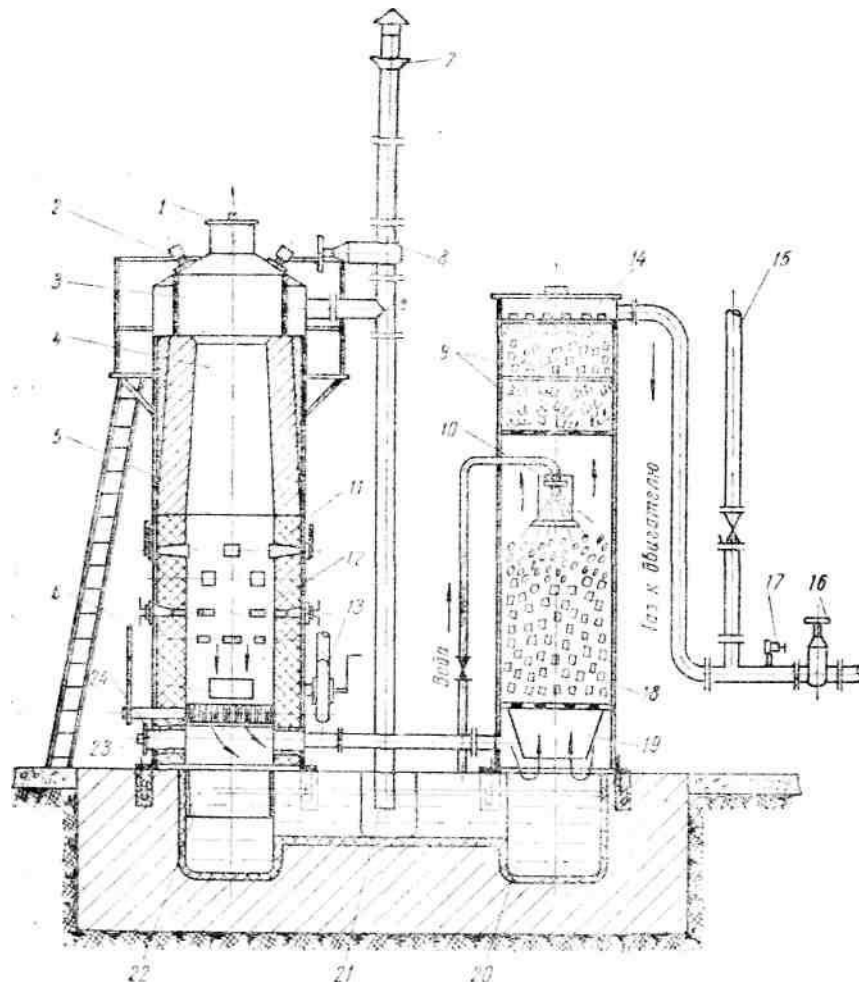


Рисунок 3.3 Схема газогенераторної установки.

1-паливо-завантажувальний пристрій; 2-отвори шуровочні; 3- металічний циліндр з отоврами; 4- цеглова футеровка; 5- газогенератор; 6- рычажний механізм; 7- димова труба; 8-запорна засувка; 9- стружка деревісна; 10-зрошуючий пристрій; 11,12- фурми; 13-ручний вентилятор; 14- кришка; 15-продувочна труба; 16-запорна засувка;17- контрольний кран; 18-комбінований очисник; 19-відбійний конус; 20-прямок; 21-стояк; 22-сталеве кільце; 23-колосникова решітка; 24-вентиль запорний;

Зовнішні отвори підготовчих фурм забезпечені шарнірними, а робочі фурми гвинтовими заслінками, що дають можливість регулювати величину відкриття фурм і кількості повітря, що надходить через них.

Внизу шахти газогенератора на опорній плиті, вмонтованій в футеровку, розташована струшуюча колосникова решітка 23, колосники якої за допомогою важільного механізму 6 приводяться в коливальний рух.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 142.44.22.06 ПЗ | Лист |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          | 51   |

Від руху гребінчастих колосників зола і дрібне вугілля, що перешкоджають проходженню газу в газогенераторі, струшуються з решітки в прямок під нею.

Для усунення підсосу повітря в просторі під колосниковою решіткою у разі появи тріщин у фундаменті під газогенератором встановлено сталеве кільце 22, опущене своїм нижньою частиною в прямок, заповнений водою.

Під колосниковою решіткою розташований газовідбірний патрубок, через який газ надходить в комбінований очищувач, де піддається охолодженню і очищенню.

Комбінований очисник являє собою металевий циліндр 18. У нижній його частині знаходиться відбійний конус 19, призначення якого відокремлювати з газу великі винесення із газогенератора у вигляді дрібного вугілля і золи.

Над відбійним конусом розташована решітка, на якій укладений кокс, в нижній частині більший, розміром 40 x 40 x 40 мм, а у верхній частині меншого розміру - 25 x 25 x 25 мм. Над шаром коксу знаходиться зрошуючий пристрій 10, який підводе і розбризкує воду в очищувачі.

Вище зрошуючого пристрою є ще дві решітки, на які покладені металеві стружки, деревні чурки і деревна стружка 9 в порядку, зазначеному на рис.1. Зверху цих очищувальних і осушуючих газ фільтрів покладена ще одна дерев'яна решітка, яка фіксує певне положення фільтрів і певною мірою запобігає можливе винесення фільтруючих елементів в газопровід, що йде з очисника до двигуна.

Нагорі комбінований очищувач закритий кришкою, яка кріпиться до фланця очисника на болтах. Очищувач має два люки для контролю роботи зрошуючого пристрою і для видалення з очисника коксу при його промиванні і заміні.

На газопроводі між комбінованим очищувачем і двигуном влаштована продувальна труба 15 для продувки установки вентилятором і контрольний краник 17 для проби якості газу за його горючості і забарвленню.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 142.44.22.06 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                          | 52   |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

Перед двигуном на цьому газопроводі поставлена запірна засувка 16.

Вся газогенераторна установка змонтована на фундаменті, в якому влаштовані прямки 20, заповнені водою, яка поступає з комбінованого очисника. Прямки призначені для збору з них золи, вугільної дрібниці, смол і сажі, що вилучається з газогенератора та комбінованого очисника. Крім того, прямки з водою служать в якості гідравлічного затвору, що ущільнює установку проти шкідливого підсосу повітря. Гідравлічний затвор під установкою відіграє також роль запобіжного клапана, і в разі вибуху газу в установці вибухова хвиля викидає воду з прямиків, оберігаючи установку від руйнування.

Для очищення прямиків під газогенератором і комбінованим очищувачем у фундаменті влаштовані вигрібні люки, що закриваються металевими настилами.

Газогенератор розпалюється природною тягою, для чого служить димова труба, що має запірну засувку 8, обладнана зверху смоло уловлювачем 7, куди стікають відводяться в димар і прямок смоли.

Димова труба своїм нижнім кінцем з'єднана стояком 21 із прямком. По цьому стояку стікають в прямок сконденсувавшись у димовій трубі водяні пари і смоли.

Для продувки газогенераторної установки, заповнення її газом та подачі газу до двигуна при його пуску є ручний вентилятор 13.

Процес отримання газу. Деревне паливо, завантажене в газогенератор у верхню його частину, піддається нагріванню, завдяки чому спочатку підсушується і втрачає вологу, а потім починає обвуглюватися з виділенням газів сублімації деревини і смол.

Цей процес, що відбувається з паливом, підготовляє його для газифікації; тому та частина газогенератора, де протікає цей процес, називається зоною підготовки палива.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 142.44.22.06 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                          | 53   |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |



Підсушене і частково обвуглене паливо, опускаючись вниз, доходить до пояса, де розташовані фурми для підвода повітря, тут починається його горіння. Пояс фурм, де відбувається горіння палива, а також газів і смол, що виділилися у верхній частині газогенератора, називається зоною горіння.

Основна кількість повітря, необхідного для горіння палива, надходить в газогенератор через фурми завдяки розрідженню яке виникає при ході поршнів двигуна.

Затягуючи з газогенераторної установки газ, двигун тим часом засмоктує в газогенератор повітря, необхідне для газифікації палива.

Утворені в зоні горіння продукти згоряння, проходячи далі вниз через високий шар розпеченого вугілля, де вже немає повітря, утворюють горючий генераторний газ.

Необхідними умовами отримання з деревного палива якісного без смолистого газу є наступні:

- 1) у зоні підготовки паливо повинне досить добре підсушитися, щоб забезпечити в подальшому якісне горіння;
- 2) паливо повинно опускатися в зону горіння без застрягання і зависання;
- 3) необхідно, щоб в зоні горіння, горіння було інтенсивним і рівномірним - як по колу шахти газогенератора, так і в глибині;
- 4) у зоні газоутворення необхідні наявність добре розпеченого, досить великого вугілля і відсутність прогарів, тобто місцевих проривів повітря, що викликають горіння вугілля і газу.

При застосуванні в газогенераторі сухого палива вологістю не більше 20-25% паливо в зоні підготовки встигає досить підсохнути, і процес горіння і газоутворення протікає нормально.

Однак при більш вологому паливі процес горіння та газифікації порушується. Це відбувається тому, що паливо в зоні підготовки не підсушується належним чином і, вступаючи в зону горіння погано підсушеним і

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 142.44.22.06 ПЗ | Лист |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          | 54   |

з підвищеною кількістю виділилися водяної пари, горить мляво, не утворюючи добре розпеченого вугілля, необхідного для газоутворення. Для отримання якісного і без смолистого газу з вологого палива процес газифікації ведеться наступним чином.

Димову трубу, що з'єднує газогенератор з атмосферою при роботі газогенератора на двигун, не закривають, як роблять при застосуванні сухого палива після закінчення розпалювання газогенератора. Завдяки цьому в газогенераторі створюється зворотна тяга, спрямована вгору в димову трубу, куди і видаляються пари води, що виділяються з палива. Одночасно з водяними парами в димову трубу відводиться і деяка кількість газів сублимації і продуктів згоряння палива, які проходячи гарячими через паливо, що знаходиться в зоні підготовки, підсушують його. Таке ведення процесу газифікації деревного палива підвищеної вологості менш економне, ніж нормальне, коли застосовується сухе паливо, тому що при цьому частина палива витрачається на підсушку палива і втрачається в димарі.

Технічні характеристики газогенераторної установки.

1. Продуктивність установки – 1500 м<sup>3</sup>/год;
2. Витрата палива вологістю 25% – 700 кг/год.;
3. Паливо - деревина твердих і змішаних порід;
4. Питома витрата палива – до 1,1 кг/кВт·год;
5. Витрата води на охолодження і очистку газу. – 1400 л/год;
6. Конструктивні габаритні розміри:
  - внутрішній діаметр шахті газогенератора – 470 мм;
  - зовнішній діаметр газогенератора – 1000 мм;
  - висота газогенератора – 4200 мм;
  - внутрішній діаметр комбінованого очисника – 650 мм;
  - висота комбінованого очисника – 3850 мм.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 142.44.22.06 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                          | 55   |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

## 4. ОРГАНІЗАЦІЯ ОХОРОНИ ПРАЦІ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ДВИГУНА

### 4.1 Коротка характеристика обладнання і умов праці на підприємстві

Машинобудування є однією з основних галузей України, на підприємствах якої визначається комплекс практично всіх шкідливих та небезпечних факторів виробничого середовища та трудового процесу і де працює близько 1,5 млн. працівників. Саме підприємства цієї галузі формують професійну захворюваність в Україні, після вугільної та металургійної промисловості.

В процесі роботи на підприємстві на працівника можуть впливати такі небезпечні й шкідливі виробничі фактори:

- машини, що рухаються, автотранспорт і механізми;
- рухомі незахищені елементи механізмів, машин і виробничого обладнання;
- падаючі вироби техніки, інструмент і матеріали під час роботи;
- ударна хвиля (вибух посудини, що працює під тиском пари рідини);
- струмені газів і рідин, що стікають, із посудин і трубопроводів під тиском;
- підвищене ковзання (через зледеніння, зволоження й замаслювання поверхонь, по яких переміщується робочий персонал);
- підвищені запыленість й загазованість повітря;
- підвищена чи знижена температура поверхонь техніки, обладнання й матеріалів;
- підвищена чи знижена температура, вологість і рухомість повітря;
- підвищений рівень шуму, вібрації, ультра- та інфразвуку;
- підвищена напруга в електричному ланцюзі, замикання якого може відбутися через тіло людини;
- підвищений рівень статичної електрики;
- гострі кромки, задирки й шорсткість на поверхнях обладнання й інструментів;
- відсутність чи нестача природного світла;
- недостатня освітленість робочої зони;

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

- знижена контрастність об'єктів в порівнянні з фоном;
- пряма близькість (прожекторне освітлення територій виробництв, світло фар автотранспорту) і відбита близькість (від розливої води й інших рідин на поверхні територій виробництв);
- підвищена пульсація світлового потоку;
- підвищений рівень ультрафіолетової й інфрачервоної радіації;
- хімічні речовини (токсичні, подразнюючі, сенсibiliзуючі, канцерогенні, мутагенні, що впливають на репродуктивну функцію людини);
- хімічні речовини, що проникають в організм через органи дихання, шлунково-кишковий тракт, шкірні покриви і слизові оболонки;
- патогенні мікроорганізми (бактерії, віруси, гриби, найпростіші) і продукти їхньої життєдіяльності;
- перевантаження (статичні й динамічні) і нервово-психічні чинники (емоційні перевантаження, перенапруга аналізаторів, розумова перенапруга, монотонність праці).

Вплив того чи іншого фактору залежить від виду виробництва, особливостей технологічного процесу, обладнання і матеріалу, який обробляється чи використовується.

Виконання будь-якого техпроцесу, використання будь-якого обладнання на підприємстві може мати потенційну загрозу для здоров'я і життя працівників. Виробництва машинобудівного комплексу характеризуються шкідливими і небезпечними умовами праці, які створюють високий рівень різноманітних професійних захворювань.

У ливарному виробництві застосовується більше 100 різних техпроцесів виготовлення форм і стрижнів, та більше 40 видів матеріалів і 300 різних антипригарних покриттів. Шкідливі речовини мають місце на всіх етапах ливарного виробництва. Використання хімічних речовин, полімерних матеріалів і різноманітних добавок призводить до потрапляння в повітря робочих

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 142.44.22.06 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                          | 57   |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

приміщень аерозолі розплавлених металів (марганцю, свинцю, хрому та ін.), флюсів, хімікатів, токсичних парів і газів (фтористого, хлористого і ціаністого водню, оксиду вуглецю, акролеїну, фенолу, аміаку та ін.). Шкідливими факторами ливарного виробництва є силікозонебезпечний пил, інтенсивні тепловипромінювання, шум, вібрація, магнітні поля. Близько 40% робіт відносяться до категорії важких і дуже важких.

Умови праці в термічних цехах характеризуються підвищеною температурою повітря робочої зони (на 7-10°C вище допустимої), інтенсивним тепловипромінюванням (до 13000 кДж/м<sup>2</sup>×год.), виділенням у повітря приміщення шкідливих речовин (оксиду і діоксиду вуглецю, аміаку, розплавів свинцю і ціаністих солей та ін.), ймовірність впливу на працівників електромагнітних полів при застосуванні установок струмів високої частоти.

В цехах механічної обробки металів робота на метало ріжучих верстатах характеризується впливом на організм пилу, шуму, вібрації, мастильно-охолоджуючих рідин.

Запиленість повітря коливається в межах 2,2-44,6 мг/м<sup>3</sup>. Більше 90% частинок пилу мають розмір менше 5 мкм. Найбільша кількість пилу утворюється при сухому способі шліфування.

Невід'ємним компонентом роботи метало ріжучих верстатів є мастильно-охолоджуючі рідини (МОР) на масляній або водній основі. Широко використовують нафтові мінеральні масла та їх емульсії. Кількість масляного аерозолі, що забруднює повітря робочої зони, може досягати десятків міліграмів на 1 м<sup>3</sup>. У складі аерозолі більше 95% частинок розміром менше 5 мкм. На спецодязі можуть збиратися компоненти МОР: бутан, ізобутан, пентан та ін. Небезпеку представляє сульфокрезол, який може проникати через тканину, забруднювати шкіру і створювати загально токсичну дію.

Шум є в основному високо- та середньо частотним. Найбільш інтенсивний шум створюють фрезерні верстати. Обробка деталей виконується з постійним

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 142.44.22.06 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                          | 58   |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

навантаженням на зір. Розміри деталей, що обробляються, складають 0,2-0,3 мм. Для роботи верстатників характерне тривале знаходження у незручній робочій позі, зосереджене спостереження, статичне і динамічне навантаження.

Велика кількість робіт виконується за допомогою зварювання. Найбільше практичне значення мають дугові і контактні способи зварювання. При ручних і напівавтоматичних способах зварювання робочі відчують значні статичні навантаження на руки і плечовий пояс. Процеси плазменного зварювання і різання металів супроводжуються впливом шуму, рівень якого може сягати 100 дБ(А). Машини контактного зварювання є джерелом магнітних полів промислової частоти і шуму. Головний несприятливий професійний фактор – зварний аерозоль високої дисперсності. У склад забруднень повітряного середовища можуть входити з'єднання марганцю, хрому, нікелю, оксиди азоту, вуглецю, кремнію та ін.

#### 4.2 Аналіз умов праці на робочому місці

Стаціонарні дизель-генераторні установки, які працюють на рідкому паливі, випускаються численними підприємствами країн світу та України, що представляють широку номенклатуру дизельних електростанцій, придатних для використання в якості автономного джерела електричної та теплової енергії в умовах відсутності централізованого електропостачання та газопостачання. В останні роки багато дизельних заводів СНД перейшли на випуск газових когенераційних електростанцій.

У зв'язку з широким розповсюдженням комп'ютерної техніки, електронних систем охоронної сигналізації, робототехніки, що висувають підвищені вимоги до надійності електропостачання, затребуваність малих стаціонарних електростанцій як аварійно-резервних джерел електропостачання істотно зростає.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 142.44.22.06 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                          | 59   |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

Сьогодні малі електростанції широко застосовують у складі джерел безперебійного електроживлення банків, торговельних підприємств, офісів, адміністративних та цивільних будинків.

Такі електростанції автоматично включаються в роботу при втраті напруги зовнішньої мережі, здійснюють автономне електропостачання об'єктів протягом певного розрахункового періоду часу, автоматично відключаються при поновленні зовнішнього електропостачання.

Улаштування малої електростанції вимагає дотримання певних правил безпеки.

При використанні стаціонарного варіанту двигуни потрібно монтувати у спеціальних приміщеннях міцно закріпивши на цегляному чи бетонному фундаменті. Об'єм приміщення повинен бути не менше 20-кратного об'єму станції.

У приміщенні повинно бути два виходи з дверима, які оббиваються негорючим матеріалом (листовим металом) з виходами назовні. Вихлопні труби повинні проходити не ближче 0,5 м від трубопроводів з горючими чи мастильними матеріалами, виводитися з приміщення для викидів відпрацьованих газів в атмосферу і бути обладнаними глушниками та іскрогасниками. Приміщення потрібно постійно провітрювати, забезпечити надійною вентиляцією й засобами пожежогасіння. Якщо в одному приміщенні змонтовано декілька двигунів, то вільний прохід між ними повинен бути не менше 1,5 м. В машинному відділенні на видних місцях розміщуються інструкції по догляду за ДВЗ і правила їх експлуатації.

Знаходячись в приміщенні стаціонарної електростанції людина відчуває негативні впливи виробничих факторів, що створюються працюючим двигуном: Шум. Вібрація, відпрацьовані гази, підвищена температура, вібрація, сухість повітря, електричний струм високої напруги, наявність хімічних речовин в повітрі робочої зони.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 142.44.22.06 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                          | 60   |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

Робота стаціонарного двигуна супроводжується шумом і вібрацією. Рівень шуму зазвичай складає 85-95 дБ, що перевищує нормовані значення (80дБ). Вплив шуму полягає у погіршенні функцій слуху і появі професійної приглухуватості. Крім цього страждають нервова і серцево-судинна системи. Вібрація проявляється у невеликих значеннях, оскільки коливання гасяться в масивному фундаменті двигуна.

В приміщенні електростанції реєструється підвищена температура і низька відносна вологість повітря. Це може призвести до пересихання слизових оболонок органів дихання і очей, що викликає часті інфекційні захворювання і хвороби очей. Крім цього підвищена температура повітря – це причина перегрівання тіла і можливих теплових ударів.

Для промивання фільтрів та інших деталей двигуна використовується дизельне паливо. Воно негативно впливає слизові оболонки і шкіру людини. Але такі наслідки рідко виникають, оскільки дизельне паливо малотоксичне, а концентрація в повітрі незначна внаслідок низької випаровуваності речовини.

Серед негативних сторін роботи моториста – робота у 2-3 зміни. Тривалість зміни 8-12 годин.

Під час ремонтних робіт виникають фізичні перенапруження окремих груп м'язів і органів при переміщенні чи підніманні деталей двигуна та інших вантажів.

На стаціонарних електростанціях існують електро- і пожежовибухонебезпеки. Такі умови роботи вимагають застосування засобів і заходів пожежної безпеки – порошкових і вуглекислотних вогнегасників. Наявність електричного струму високої напруги і сили передбачає улаштування штучного заземлення.

Безпечна робота ДВЗ забезпечується також загородженням небезпечних місць, відповідними процедурами підготовки двигунів до роботи, своєчасним технічними оглядами і обслуговуванням, а також чітким дотриманням правил техніки безпеки при їх експлуатації.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 142.44.22.06 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                          | 61   |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |



У результаті проведення гігієнічної оцінки умов праці моториста (машиніста) встановлені певні характеристики робочого місця (таблиця 4.1).

Таблиця 4.1 Бальна оцінка елементів умов праці моториста (машиніста)

| Показник                      | Значення                     | Бал |
|-------------------------------|------------------------------|-----|
| Температура, °C               | 27                           | 3   |
| Відносна вологість, %         | 45                           | 1   |
| Шум, дБА                      | 85                           | 2   |
| Нервово-емоційне навантаження | Прості дії за заданим планом | 2   |
| Змінність                     | 3 зміни                      | 3   |
| Точність зорових робіт        | груба                        | 1   |
| Число об'єктів спостереження  | 6                            | 2   |
| Освітленість, лк              | 150                          | 2   |

#### 4.3 Розрахунок інтегральної бальної оцінки тяжкості праці

Визначимо інтегральну бальну оцінку тяжкості праці згідно показників, що характеризують умови праці на робочому місці.

$$I_t = 10 \cdot \left( x_{\max} + \frac{(6 - x_{\max}) \cdot \sum x_i}{6 \cdot (N - 1)} \right) = 10 \cdot \left( 3 + \frac{(6 - 3) \cdot 13}{6 \cdot (8 - 1)} \right) = 39,3$$

Інтегральна бальна оцінка тяжкості праці в 39,3 балів відповідає 3 категорії тяжкості праці.

Ступінь втомлюваності визначаємо за формулою:

$$Y = \frac{I_t - 15,6}{0,64} = \frac{39,3 - 15,6}{0,64} = 37$$

Працездатність людини в даних умовах праці – величина, протилежна втомлюваності:

$$R = 100 - Y = 100 - 37 = 63$$

Оцінка умов праці показала, що вони не є комфортними (3 категорія тяжкості праці). Відповідно, необхідно розробити заходи по забезпеченню безпечних и комфортних умов праці.

#### 4.4 Визначення заходів з охорони праці

За допомогою досліджень встановлено, що умови праці моториста (машиніста) дизельної електростанції не можна назвати не тільки комфортними, але й допустимими. Найчастіше їх відносять до шкідливих через наявність підвищених рівнів факторів виробничого середовища і трудового процесу.

Гігієнічна оцінка умов праці на робочому місці моториста (машиніста) стаціонарної електроустановки визначила, що найгірші значення мають такі виробничі фактори, як шум, температура повітря робочої зони, освітлення робочого місця, змінність. Крім цього протягом зміни швидко настає втома. Відповідно, саме для їх покращення а також для зменшення втоми працівника можна використовувати такі заходи:

- встановлення раціональних режимів праці і відпочинку;
- обов'язкові додаткові перерви;
- використання навушників для зменшення впливу шуму;
- акустична обробка приміщення за рахунок укривання стелі і стін звукопоглинальними матеріалами;
- заміна ламп загального освітлення на більш потужні;
- регулярне миття вікон і плафонів світильників;
- встановлення раціональної системи вентиляції приміщення;
- регулярне провітрювання виробничого приміщення;
- регулярне проведення медичних оглядів працівників;
- сплата компенсації за роботу у шкідливих умовах праці (4-8% до зарплати);
- видача лікувально-профілактичного харчування;
- надання спецодягу і засобів індивідуального захисту.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 142.44.22.06 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                          | 63   |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

## ВИСНОВКИ

Кваліфікаційна робота на тему "Розробка вдосконаленої паливної системи для стаціонарного газового двигуна потужністю 720 кВт. Двигун-прототип 6ГЧН26/34» містить в собі необхідні конструкторські креслення, розрахункові і пояснювальні матеріали по газовому двигуну 6ГЧН26/34 і детальну розробку системи подачі генераторного газу в двигун. Кваліфікаційна робота оформлена у вигляді пояснювальної записки та графічної частини загальною кількістю 6 листів формату А1.

Газовий двигун 6ГЧН 26/34 потужністю 720 кВт використовується для приводу електрогенератора змінного струму і встановлюється в місцях де є постійні споживачі електричної та теплової енергії. В пояснювальній записці виконаний опис конструкції газового двигуна 6ГЧН26/34, а його конструкція показана на листі Додатку1 графічної частини роботи.

У другому розділі роботи по заданим вихідним параметрам двигуна ( $P = 720 \text{ кВт}$ ,  $n = 750 \text{ об/хв}$ ) визначений двигун – прототип 6ГЧН26/34 і виконані розрахунки параметрів робочого циклу по результатам яких побудовані індикаторна діаграма дійсного робочого циклу та діаграми сил, що діють на деталі КШМ, величини яких знайдені в динамічному розрахунку двигуна.

Важливе місце в кваліфікаційній роботі займають розрахунок і розробка системи подачі генераторного газу в циліндри двигуна, яка забезпечує якісне сумішоутворення паливного газу з повітрям при змінному складі генераторного газу. В пояснювальній записці приведений детальний опис системи подачі газу, змішувальної камери та газогенератора для виробництва генераторного газу. В графічній частині кваліфікаційної роботи розроблені складальні креслення газового двигуна, фільтра-глушника, в якому розміщена змішувальна камера, а також складальне креслення дозатора.

Велику увагу в кваліфікаційній роботі приділено розробці заходів по зменшенню негативного впливу шуму і вібрації газового двигуна 6ГЧН26/34 на

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 142.44.22.06 ПЗ | Лист |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          | 64   |

обслуговуючий персонал і на навколишнє середовище.

Серед цих заходів слід відмітити захист людей від підвищеної температури випускного колектору двигуна шляхом його ізоляції; зменшення аеродинамічного шуму за рахунок застосування фільтра – глушника на вході в двигун.

|      |      |          |        |      |                           |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПІННІ НУК 142.44.22.06 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                           | 65   |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                           |      |

## СПИСОК ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ

1. Грищенко А.И. и др. Газовое моторное топливо ВНИИгаз. М., 1992
2. Дизели. Справочник под ред. В.А. Ваншейдта „Машиностроение“, Л., 1977
3. Теория двигателей внутреннего сгорания. Рабочие процессы. Под ред. Н.Х. Дьяченко. «Машиностроение» Л., 1974
4. Методичні вказівки до практичної роботи «Розрахунок та побудова індикаторної діаграми». Склали викладач Іодловський В.І., Доценко С.М. Первомайськ, ПП, 2000р.
5. Генкин П.Н., Газовые двигатели. «Машиностроение» М., 1977
6. Биргер И.А. и др. Расчет на прочность деталей машин. Справочник. «Машиностроение» М., 1979
7. Конструирование и расчет ДВС под общей редакцией Дьяченко Н.Х. «Машиностроение» Л., 1979
8. Ваншейдт В.А. Конструирование и расчеты прочности судовых дизелей «Судостроение». Л., 1969
9. Орлин А.С., Алексеев В.П. и др. Системы поршневых и комбинированных двигателей. «Машиностроение» М., 1973
10. Шейнблит А.Е. Курсовое проектирование деталей машин. «Высшая школа» М., 1991

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 142.44.22.06 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                          | 66   |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |