

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова**  
**Первомайська філія**

Кафедра «Енергетичне машинобудування»

«Допущений до захисту»  
Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 р.

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

**на тему:** Підвищення техніко-економічних показників стаціонарного газового двигуна потужністю 600 кВт за рахунок вдосконалення конструкції колінчастого валу.

Прототип 6ГЧН25/34

Виконав: студент групи 61-ТЕМмаг-20

\_\_\_\_\_ **Смуток О.С.**  
(підпис)

Керівник роботи:

**зав. кафедри «ЕМ», к.т.н., доцент ПФ НУК**  
(посада, науковий ступінь, вчене звання)

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

Первомайськ - 2021 р.

# ЗМІСТ

|                                                                                                         |  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| Вступ.....                                                                                              |  |
| 1. Загальний розділ                                                                                     |  |
| 1.1 Опис електростанції на базі проектного двигуна.....                                                 |  |
| 1.2 Опис конструкції базового двигуна 6ГЧН25/34.....                                                    |  |
| 2. Конструкторський розділ                                                                              |  |
| 2.1 Вимоги до проектного двигуна та обґрунтування вибору основних параметрів робочого циклу .....       |  |
| 2.2 Розрахунок робочого процесу газового двигуна.....                                                   |  |
| 2.3 Розрахунок та побудова індикаторної діаграми.....                                                   |  |
| 2.4 Аналіз індикаторних та ефективних показників газового двигуна 6ГЧН25/34 в порівнянні з базовим..... |  |
| 2.5 Динамічний розрахунок та побудова графіків сил, діючих на КШМ.....                                  |  |
| 2.6 Розрахунок теплового балансу газового двигуна.....                                                  |  |
| 3 Науковий розділ                                                                                       |  |
| 3.1 Опис та аналіз конструкції колінчастих валів ДВЗ.....                                               |  |
| 3.2 Визначення навантажень на рамові шийки колінчастого валу.....                                       |  |
| 3.3 Розрахунок на міцність болтів, що кріплять противаги.....                                           |  |
| 4. Охорона праці та навколишнього середовища                                                            |  |
| 4.1 Заходи з охорони праці.....                                                                         |  |
| 4.2 Охорона навколишнього середовища.....                                                               |  |
| 4.3 Засоби зниження токсичності та димності відпрацьованих газів.....                                   |  |
| 4.4 Заходи щодо зниження шуму і вібрації.....                                                           |  |
| 4.5 Техніка безпеки при експлуатації двигуна.....                                                       |  |
| 5 Техніко-економічний розділ                                                                            |  |
| 5.1 Розрахунок собівартості та ціни модернізованого двигуна.....                                        |  |
| 5.2 Розрахунок економічного ефекту у споживача модернізованого двигуна.....                             |  |
| Загальні висновки по кваліфікаційній роботі .....                                                       |  |
| Література.....                                                                                         |  |

|           |            |             |        |      |                        |              |      |        |
|-----------|------------|-------------|--------|------|------------------------|--------------|------|--------|
|           |            |             |        |      | ПФ НУК 131.61.21.05 ПЗ |              |      |        |
| Зм.       | Арк..      | № документа | Підпис | Дата |                        |              |      |        |
| Розробив  | Смук       |             |        |      | Пояснювальна записка   | Літера       | Лист | Листів |
| Перевірив | Нестеренко |             |        |      |                        | н            | 2    |        |
|           |            |             |        |      |                        |              |      |        |
| Н. контр  | Нестеренко |             |        |      |                        |              |      |        |
| Затвердив | Нестеренко |             |        |      |                        | 61-ТЕМмаг-20 |      |        |

Графічна частина магістерської роботи

ДОДАТОК А План розміщення ДвГА-570 в машинній залі, А1,СК

ДОДАТОК Б Газовий двигун 6ГЧН25/34 (Поперечний розріз), А1,СК

ДОДАТОК В Газовий двигун 6ГЧН25/34 (Поздовжній розріз), А1,СК

ДОДАТОК Г Колінчастий вал (Складальне креслення), А1,СК

ДОДАТОК Д Противага (Робоче креслення), А1, РК

ДОДАТОК Е Розрахункова схема колінчастого валу та діаграми навантаження,  
А1

ДОДАТОК Ж Діаграма індикаторна та сил, що діють в КШМ, А1

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПФ НУК 131.61.21.05 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                        | 3    |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        |      |

## ВСТУП

Основними напрямками розвитку двигунобудування на сучасному етапі його розвитку є :

- збільшення питомих потужностей за рахунок газотурбінного наддуву та підвищення частоти обертання колінчастого валу;
- підвищення економічності, надійності і моторесурсу;
- зменшення металоємності і вартості двигуна.
- пристосування двигунів для роботи на альтернативних видах палива, в першу чергу на різних видах газового палива.

Успішне вирішення цих проблем в основному визначається принциповим підходом до проектування двигунів з врахуванням їх типу, призначення і особливостей експлуатації. Для газових двигунів, що працюють на різних видах газового палива, найбільш прийнятним шляхом поліпшення їх техніко-економічних показників та покращення масо-габаритних показників є підвищення частоти обертання колінчастого валу. В порівнянні з дизельними двигунами газові двигуни мають набагато нижчий середній ефективний тиск та максимальний тиск згоряння. Причиною цього є поява детонаційного згоряння в циліндрах двигуна при високому тиску газоповітряної суміші, низькій якості газового палива, перегріві деталей камери згоряння, підвищеній витраті масла, яке попадає в камеру згоряння. Проектований газовий двигун призначений для приводу електричного генератора змінного струму і встановлюється на стаціонарній електростанції. Для забезпечення надійної роботи газового двигун – генератора на паливному газу при підвищеній потужності та частоті обертання в конструкції колінчастого валу передбачено застосування противаг на його щоках, які дозволять зменшити навантаження на підшипники колінчастого валу, а отже і на остов двигуна, що позитивно вплине на вібро-шумові характеристики двигуна, збільшать ресурс роботи колінчастого валу та його підшипників, поліпшать умови експлуатації газового двигуна – генератора на електростанції.

|      |      |          |        |      |                        |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПФ НУК 131.61.21.05 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                        | 3    |
| Ізм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                        |      |

## 1 ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

### 1.1 Опис електростанції на базі проектного двигуна

Для р когенераційної установки із газовим двигуном 6ГЧН25/34 використовуються в першу чергу площі, що вивільняються при реконструкції промислових об'єктів. В даній роботі устаткування когенераційної установки розміщується на вільній площі котельні. Будівля одноповерхова, із складеного залізобетону, каркасна із залізобетонними панелями. Висота до низу ферми - 6 м. Приміщення обладнано підвісним краном вантажопід'ємністю 1,0 Т. Будівля знаходиться в доброму стані, частина будівлі, де буде встановлюватися когенераційна установка, вільна. В зовнішніх стінах є світові пройоми. До будівлі підведені інженерні комунікації. Розрахункова температура навколишнього повітря найбільш холодних п'яти діб -  $-20^{\circ}\text{C}$ .

#### 1.1.1 Склад, характеристика устаткування.

В склад когенераційної установки входить слідуюче теплотехнічне устаткування:

-газовий двигун-генератор ДвГА-570, теплообмінник утилізаційний водогрійний (ТУВ), насоси циркуляційні, насоси поповнення, градирня ГМП-20, шафа газова, трубопроводи із запірною арматурою, система стиснутого повітря, система прийому, зберігання і заміни масла.

#### Основні технічні дані газового двигун-генератора ДвГА-570

|                                                                         |       |
|-------------------------------------------------------------------------|-------|
| Повна потужність на вихідних клеммах генератора, кВт                    | 570   |
| Мінімальна потужність при тривалій роботі, кВт                          | 150   |
| Витрата газу на повній потужності, $\text{нм}^3/\text{год}$             | 184,9 |
| Питома витрата циркуляційного масла на угар, $\text{г}/(\text{кВтгод})$ | 1,4   |
| Тиск газу на вході в редуктор, МПа не більше                            | 0,3   |
| Вид струму - змінний, 3-х фазний                                        |       |
| Напруга, В                                                              | 400   |
| Частота, Гц                                                             | 50    |

|    |           |          |        |      |                        |           |
|----|-----------|----------|--------|------|------------------------|-----------|
|    |           |          |        |      | ПФ НУК 131.61.21.05 ПЗ | Арку<br>ш |
|    |           |          |        |      |                        |           |
| Зм | Арку<br>ш | № докум. | Підпис | Дата |                        |           |

|                                              |       |
|----------------------------------------------|-------|
| Назначений ресурс безперервної роботи, годин | 1000  |
| Суха маса двигун -генератора, кг             | 17500 |
| Габаритні розміри, мм                        |       |
| - довжина                                    | 5450  |
| - ширина                                     | 1900  |
| - висота                                     | 2775  |

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

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

Генератор синхронний типу СГС-900Г-10Н1, трьохфазний із статичною системою збудження, автоматичним регулюванням напруги, одноопорний, щітковий. Генератор має дві шафи управління:

- пристрій збуджувальний УВГС - 630 із системою збудження генератора, системою контролю і управління двигун-генератором, пристроєм точної синхронізації.

В шкафу УВГС встановлені прилади контролю електричних параметрів :

- ваттметр, вольтметр, варметр, амперметр, частотомір, лічильник мотогодин, прилади контролю температур обмоток статора і підшипника;
- пристрій комплектний низьковольтний УКН-400 із генераторним автоматом, який здійснює прийом від генератора і розподіляє електроенергію через автоматичні вимикачі. В шкафу УКН встановлений лічильник електроенергії, що виробляється двигун-генератором.

|    |           |          |        |      |                        |           |
|----|-----------|----------|--------|------|------------------------|-----------|
|    |           |          |        |      | ПФ НУК 131.61.21.05 ПЗ | Арку<br>ш |
|    |           |          |        |      |                        |           |
| Зм | Арку<br>ш | № докум. | Підпис | Дата |                        |           |

### 1.1.2 Основні технічні характеристики ТУВ

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

|                                                 |       |
|-------------------------------------------------|-------|
| Номинальна теплопродуктивність, кВт             | 380   |
| Площа нагріву, м <sup>2</sup>                   | 30,8  |
| Аеродинамічний опір, Па не більше               | 1000  |
| Номинальна витрата, кг/год                      |       |
| - газів випускних                               | 3200  |
| - води                                          | 25000 |
| Температура води на виході із ТУВ, °С не більше | 90    |
| Температура випускних газів, °С                 |       |
| - на вході в ТУВ, максимальна                   | 550   |
| - на виході із ТУВ, мінімальна                  | 130   |
| Габаритні розміри (з підставкою), мм            |       |
| - ширина                                        | 690   |
| - довжина                                       | 750   |
| - висота                                        | 2600  |
| Маса, кг                                        | 430   |

### 1.1.3 Основні технічні характеристики градирні ГМП - 20

|                                                           |                |
|-----------------------------------------------------------|----------------|
| Гідравлічне навантаження максимальне, м <sup>3</sup> /год | 0              |
| Напір води перед соплом, м. вод. ст.                      | 3...5          |
| Перепад температур води, °С                               | 5...20         |
| Вентилятор вісьовий ВО6-300                               | №8             |
| Потужність електродвигуна, кВт                            | 1,1            |
| Габаритні розміри, мм                                     | 1850x1250x1700 |
| Об'єм прийомного бака, м <sup>3</sup>                     | 0,45           |

|    |           |          |        |      |                        |           |
|----|-----------|----------|--------|------|------------------------|-----------|
|    |           |          |        |      | ПФ НУК 131.61.21.05 ПЗ | Арку<br>ш |
|    |           |          |        |      |                        |           |
| Зм | Арку<br>ш | № докум. | Підпис | Дата |                        |           |

Теплопостачання споживачам виконується від ТУВ і двигуна насосом циркуляційним ( $Q = 27 \text{ м}^3/\text{год}$ ,  $H = 18 \text{ м. вод. ст.}$ ), через які прокачується вода.

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

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

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

#### 1.1.4 Постачання повітря для пуску газового двигуна

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

- електричний компресор автоматизований LT-40 для отримання і нагнітання в балон стиснутого повітря із автоматичною підтримкою тиску в ньому ( $p = 3 \text{ МПа}$ );
- балон стиснутого повітря ( $V = 400\text{л}$ );
- трубопроводи і арматура.

#### 1.1.5 Система прийому, зберігання та заміни масла

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

#### 1.1.6 Основні технічні дані електрообладнання

|                                      |               |
|--------------------------------------|---------------|
| 1.Потужність генератора СГС-900Г     | 710КВА/570кВт |
| 2.Напруга                            | 400 В         |
| 3.Сила струму                        | 1275 А        |
| 4.Встановлена потужність споживачів: |               |
| - власних потреб (робоча/резервна)   | 30кВт/6кВт    |
| - силове електрообладнання           | 25кВт/7кВт    |

|    |           |          |        |      |                        |           |
|----|-----------|----------|--------|------|------------------------|-----------|
|    |           |          |        |      | ПФ НУК 131.61.21.05 ПЗ | Арку<br>ш |
|    |           |          |        |      |                        |           |
| Зм | Арку<br>ш | № докум. | Підпис | Дата |                        |           |



#### 1.1.7 Пожежна сигналізація, газоаналіз і газове пожежогасіння

##### Пожежна сигналізація.

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

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

##### Газове пожежогасіння

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

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

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

Контроль складу димових газів від ДвГ1А-570 виконується переносним газоаналізатором.

|    |           |          |        |      |                        |           |
|----|-----------|----------|--------|------|------------------------|-----------|
|    |           |          |        |      | ПФ НУК 131.61.21.05 ПЗ | Арку<br>ш |
|    |           |          |        |      |                        |           |
| Зм | Арку<br>ш | № докум. | Підпис | Дата |                        |           |

## 1.2 Опис конструкції двигуна - прототипу 6ГЧН25/34

Двигун-генератор ДвГА-570 складається із газового двигуна 6ГЧН25/34 і генератора СГС-400М, що змонтовані на загальній рамі, шафи управління і контролю ШКУ-400 і допоміжного обладнання, яке встановлене в приміщенні електростанції: бачка води розширювального, бачка масла із центрифугою, пускових балонів, компресора для підкачування балонів, глушника - іскрогасника і теплообмінника утилізаційного водогрійного.

З'єднання колінчастого валу двигуна із ротором – жорстке за допомогою призонних болтів.

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

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

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

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

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

|    |           |          |        |      |                        |           |
|----|-----------|----------|--------|------|------------------------|-----------|
|    |           |          |        |      | ПФ НУК 131.61.21.05 ПЗ | Арку<br>ш |
|    |           |          |        |      |                        |           |
| Зм | Арку<br>ш | № докум. | Підпис | Дата |                        |           |

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

На правій сторні двигуна розташовані: колектор подачі охолоджуючої води в зарубашечний простір втулок робочих циліндрів і щити закриття картеру із запобіжними клапанами.

|    |           |          |        |      |                        |           |
|----|-----------|----------|--------|------|------------------------|-----------|
|    |           |          |        |      | ПФ НУК 131.61.21.05 ПЗ | Арку<br>ш |
|    |           |          |        |      |                        |           |
| Зм | Арку<br>ш | № докум. | Підпис | Дата |                        |           |

## 2 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

### 2.1 Вимоги до проектного двигуна та обґрунтування вибору основних параметрів робочого циклу

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.

|    |       |          |        |      |                        |       |
|----|-------|----------|--------|------|------------------------|-------|
|    |       |          |        |      | ПФ НУК 131.61.21.05 ПЗ | Аркуш |
|    |       |          |        |      |                        |       |
| Зм | Аркуш | № докум. | Підпис | Дата |                        |       |

Застосування двигуна для приводу електричного генератора обумовлює 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 25/34, основні параметри якого наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 Основні параметри газового двигуна - прототипу 6ГЧН25/34

| Найменування параметра                   | Од. виміру              | Значення |
|------------------------------------------|-------------------------|----------|
| Частота обертання колінчастого валу, $n$ | хв. <sup>-1</sup>       | 600      |
| Середній ефективний тиск, $p_{me}$       | КПа                     | 1070     |
| Номінальна ефективна потужність, $P_e$   | кВт                     | 540      |
| Ресурс до першої переборки, $t_{пер}$    | год                     | 8000     |
| Ресурс до капітального ремонту, $t_{кр}$ | год                     | 60000    |
| Питома витрата газового палива, $b_e$    | м <sup>3</sup> /кВт·год | 0,30     |
| Витрата газового палива за годину, $V_g$ | м <sup>3</sup> /год     | 162,0    |
| Питома витрата мастила, $g_m$            | г/(кВтгод)              | 1,4      |

Обґрунтування вибіру основних параметрів робочого циклу двигуна

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

|    |       |          |        |      |                        |       |
|----|-------|----------|--------|------|------------------------|-------|
|    |       |          |        |      | ПФ НУК 131.61.21.05 ПЗ | Аркуш |
|    |       |          |        |      |                        |       |
| Зм | Аркуш | № докум. | Підпис | Дата |                        |       |

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

Проведемо аналіз вихідних параметрів для розрахунку робочого процесу:

а) Тиск і температура навколишнього середовища.

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

б) Ступінь стиску.

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

в) Коефіцієнт надлишку повітря.

Коефіцієнт надлишку повітря для згорання газового складає  $\alpha = 1,1 \dots 1,8$  [1] стор.32 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.

г) 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

д) Коефіцієнт продувки камери згорання.

|    |       |          |        |      |                        |       |
|----|-------|----------|--------|------|------------------------|-------|
|    |       |          |        |      | ПФ НУК 131.61.21.05 ПЗ | Аркуш |
|    |       |          |        |      |                        |       |
| Зм | Аркуш | № докум. | Підпис | Дата |                        |       |

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

э) 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] стор.56 . Для розрахунків приймаємо  $\Delta t = 10^\circ\text{C}$ .

ж) 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] стор.103. Для двигунів із порівняно низькими обертами колінчастого валу  $n = 500 \dots 750$  об/хв приймаємо для розрахунку робочого циклу такі коефіцієнти  $\xi_z = 0,80$  і  $\xi_b = 0,95$ .

з) 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 рекомендується приймати  $\lambda = 1,35 \dots 2,2$ . [2] стор.41.

к) Механічний ККД

Механічний ККД двигуна залежить від його від конструкції, швидкохідності, наявності приводних механізмів на ньому і таке інше. По дослідним даним двигуна - прототипу приймаємо ККД запроектованого двигуна  $\eta_m = 0,90$ .

л) Охолодження наддувочного повітря

Зниження температури наддувочного повітря або газоповітряної суміші в одноступеневому охолоджувачі повітря приймаємо в межах  $40 \dots 60^\circ\text{C}$  [3] стор.207.

|    |       |          |        |      |                        |       |
|----|-------|----------|--------|------|------------------------|-------|
|    |       |          |        |      | ПФ НУК 131.61.21.05 ПЗ | Аркуш |
|    |       |          |        |      |                        |       |
| Зм | Аркуш | № докум. | Підпис | Дата |                        |       |

м) 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] стор.125.

н) Коефіцієнт закруглення індикаторної діаграми.

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

о) Показник політропи стиску в компресорі.

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

|    |       |          |        |      |                        |       |
|----|-------|----------|--------|------|------------------------|-------|
|    |       |          |        |      | ПФ НУК 131.61.21.05 ПЗ | Аркуш |
|    |       |          |        |      |                        |       |
| Зм | Аркуш | № докум. | Підпис | Дата |                        |       |



## 2.2 Розрахунок робочого процесу газового двигуна.

1. Вихідні дані для розрахунку згідно із умовами завдання:

|                                      |                 |      |                  |
|--------------------------------------|-----------------|------|------------------|
| Ефективна потужність                 | $P_e =$         | 600  | кВт              |
| Частота обертання колінчастого валу. | $n =$           | 750  | $\text{хв}^{-1}$ |
| Діаметр циліндра                     | $d =$           | 250  | мм               |
| Хід поршня                           | $S =$           | 340  | мм               |
| Ступінь стиску                       | $\varepsilon =$ | 10,5 |                  |
| Коефіцієнт надлишку повітря          | $\alpha =$      | 1,75 |                  |
| Число циліндрів                      | $i =$           | 6    |                  |
| Коефіцієнт тактності                 | $z =$           | 4    |                  |

2. Вихідні дані для розрахунку згідно із розділом 2.2.

|                                                        |              |       |                    |
|--------------------------------------------------------|--------------|-------|--------------------|
| Тиск наддуву                                           | $p_b =$      | 190   | кПа                |
| Тиск навколишнього середовища                          | $p_a =$      | 100   | кПа                |
| Температура навколишнього середовища                   | $T_a =$      | 293   | К                  |
| Показник політропи стиску для відцентрового компресора | $n_k =$      | 1,6   |                    |
| Підігрів свіжого заряду                                | $\Delta T =$ | 10    | К                  |
| Тиск залишкових газів                                  | $p_r =$      | 183   | кПа                |
| Температура залишкових газів                           | $T_r =$      | 750   | К                  |
| Ступінь підвищення тиску                               | $\lambda =$  | 2,15  |                    |
| 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               | $\xi =$      | 0,96  |                    |
| Нижча теплота згорання газу                            | $Q_H =$      | 33500 | кДж/м <sup>3</sup> |

Природний газ

| Склад: | в %                           | В об'ємних долях                     |
|--------|-------------------------------|--------------------------------------|
| метан  | $\text{CH}_4 =$ 95            | $R_{\text{CH}_4} =$ 0,95             |
| етан   | $\text{C}_2\text{H}_6 =$ 2    | $R_{\text{C}_2\text{H}_6} =$ 0,02    |
| пропан | $\text{C}_3\text{H}_8 =$ 2    | $R_{\text{C}_3\text{H}_8} =$ 0,02    |
| бутан  | $\text{C}_4\text{H}_{10} =$ 1 | $R_{\text{C}_4\text{H}_{10}} =$ 0,01 |
| пентан | $\text{C}_5\text{H}_{12} =$ 0 | $R_{\text{C}_5\text{H}_{12}} =$ 0    |

|               |                 |   |                     |   |
|---------------|-----------------|---|---------------------|---|
| вуглекислота  | $\text{CO}_2 =$ | 0 | $R_{\text{CO}_2} =$ | 0 |
| оксид вуглецю | $\text{CO} =$   | 0 | $R_{\text{CO}} =$   | 0 |
| азот          | $\text{N}_2 =$  | 0 | $R_{\text{N}_2} =$  | 0 |
| кисень        | $\text{O}_2 =$  | 0 | $R_{\text{O}_2} =$  | 0 |
| водень        | $\text{H}_2 =$  | 0 | $R_{\text{H}_2} =$  | 0 |

### 3. Параметри робочого тіла.

Теоретично необхідна кількість повітря для згоряння 1 кмоль газу.

$$L_0 = \frac{1}{0.21} \times [0.5(\text{CO} + \text{H}_2) + \sum (n + 0.25m) C_n H_m - \text{O}_2] \text{ кмоль/кмоль}$$

$$L_0 = 10.17 \text{ кмоль/кмоль}$$

Загальна кількість продуктів свіжого заряду.

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

$$M_1 = 18.79 \text{ кмоль/кмоль}$$

Кількість окремих компонентів продуктів згоряння.

$$\begin{aligned} \text{Кількість } \text{CO}_2: \quad M_{\text{CO}_2} &= \text{CO} + \sum (n C_n H_m + \text{CO}_2) \text{ кмоль} \\ M_{\text{CO}_2} &= 1.09 \text{ кмоль} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Кількість } \text{H}_2\text{O}: \quad M_{\text{H}_2\text{O}} &= \text{H}_2 + \sum (0.5 m C_n H_m) \text{ кмоль} \\ M_{\text{H}_2\text{O}} &= 2.09 \text{ кмоль} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Кількість } \text{O}_2: \quad M_{\text{O}_2} &= 0.21 \times (\alpha - 1) \times L_0 \text{ кмоль} \\ M_{\text{O}_2} &= 1.6013 \text{ кмоль} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Кількість } \text{N}_2: \quad M_{\text{N}_2} &= 0.79 \times \alpha \times L_0 + \text{N}_2 \text{ кмоль} \\ M_{\text{N}_2} &= 14.055 \text{ кмоль} \end{aligned}$$

Загальна кількість продуктів згоряння.

$$M_2 = M_{\text{CO}_2} + M_{\text{H}_2\text{O}} + M_{\text{O}_2} + M_{\text{N}_2}, \quad 18.837 \text{ кмоль}$$

Змінення об'єму при згорянні 1 кмоль газу.

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

$$\Delta M = 0.045 \text{ кмоль}$$

Теоретичний коефіцієнт молекулярної зміни.

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

$$\beta_0 = 1.0024$$

### 4. Параметри процесу наповнення.

Температура повітря після нагнітача.

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

$$T_B = 372,7 \text{ K}$$

Температура повітря після охолоджувача.

$$T_{\text{int}} = T_B - (30 - 70^0 K)$$

$$\text{число з інтервалу} = 60$$

$$\Delta T_{\text{int}} = 312,7 \text{ K}$$

Температура газоповітряної суміші.

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

$$T_{\text{cm}} = 319,6 \text{ K}$$

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

Коефіцієнт залишкових газів.

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

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

$$P_d = 180,5 \text{ кПа}$$

$$\gamma_r = 0,047$$

Коефіцієнт наповнення.

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

$$\varphi_n = 0,92$$

Температура газоповітряної суміші на початку стиску.

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

$$T_d = 348,5 \text{ K}$$

5. Параметри процесу стиску.

Тиск в кінці стиску.

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

$$P_c = 4215,7 \text{ кПа}$$

Температура в кінці стиску.

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

$$T_c = 775,1 \text{ K} \quad t_c = 502,1 \text{ } ^\circ\text{C}$$

6. Параметри процесу згорання.

Дійсний коефіцієнт молекулярної зміни.

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

$$\beta = 1,0023$$

Максимальна температура циклу знаходиться з рівняння балансу:

$$\frac{\xi \cdot 22,4 \cdot Q_H}{(1 + \gamma_r) \cdot (1 + \alpha \cdot L_0)} = \beta_z \cdot m_{Cp} m_z \cdot t_z - (m_{Cv} m_m + 8,314 \lambda) \cdot t_c$$

склад продуктів згорання в об'ємних долях:

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

$$R_{CO_2} = 0,0579$$

$$R_{H_2O} = \frac{M_{H_2O}}{M_2}$$

$$R_{H_2O} = 0,1110$$

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

$$R_{O_2} = 0,0850$$

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

$$R_{N_2} = 0,7462$$

Мольна теплоємність продуктів згорання:

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

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

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

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

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

Після підстановки одержимо рівняння.

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

де:

$$a = 22,29$$

$$b = 598,73$$

теплоємність газового палива.

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

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

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

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

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

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

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

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

Після підстановки одержимо рівняння.

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

де:

$$a = 12,99$$

$$b = 5501,79$$

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:

$$a = 20,09$$

$$b = 495,96$$

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.

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

Після підстановки одержимо рівняння.

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

де:

$$a = 20,09$$

$$b = 247,98$$

мольна теплоємність продуктів згоряння при постійному тиску

в точці "Z"

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

Після підстановки одержимо рівняння.

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

де:

$$a = 29,134$$

$$b = 532,729$$

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

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

$$a = 29,134$$

$$b = 266,364$$

Максимальна температура процесу згоряння.

Після підстановки одержимо квадратне рівняння.

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

де:

$$A = 266,974$$

$$B = 29,201$$

$$C = 50007,38 \quad 81263,2$$

Звідки:

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

$$t_z = 1505,4 \text{ C} \quad T_z = 1778,4 \text{ K}$$

Максимальний тиск згоряння.

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

$$P_{\max} = 9694,1 \text{ кПа}$$

Ступінь підвищення тиску

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

$$\lambda = 2,30$$

$$\Delta\lambda = 6,95 \%$$

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

Ступінь попереднього розширення.

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

$$\rho = 1$$

7. Параметри процесу розширення.

Ступінь подальшого розширення.

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

$$\delta = 10,5$$

Тиск в кінці розширення.

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

$$P_B = 537,6 \text{ кПа}$$

Температура в кінці розширення.

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

$$T_B = 1035,5 \text{ К}$$

Середня температура випускних газів.

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

$$T_{\text{ср.г.}} = 827,8 \text{ К}$$

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

Температура залишкових газів.

$$T_r = \frac{T_B}{\sqrt{\frac{P_B}{P_r}}}$$

$$T_r = 723,0 \text{ К}$$

$$\text{Перевірка: } \frac{|T_r^3 - T_r|}{T_r^3} \times 100 \% = 3,60 \%$$

8. Індикаторні показники робочого процесу.

Середній теоретичний індикаторний тиск.

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

$$P_{mi} = 1089,51 \text{ кПа}$$

Індикаторний ККД.

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

$$\eta_i = 0,44$$

Питома індикаторна витрата газу.

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

$$b_i = 0,25 \text{ м}^3 / (\text{кВт} \cdot \text{год})$$

9 Ефективні показники робочого циклу.

Середній тиск механічних втрат.

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

Середня швидкість поршня.

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

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

$$V_{П.СР.} = 8,5 \text{ м/с}$$

$$P_M = 131,8 \text{ кПа}$$

Середній ефективний тиск.

$$P_{me} = P_{mi} - P_m, \text{кПа}$$

$$P_{me} = 957,70 \text{ кПа}$$

Механічний К.К.Д.

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

$$\eta_M = 0,88$$

Ефективний К.К.Д.

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

$$\eta_e = 0,384$$

Питома ефективна витрата газу.

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

$$b_e = 0,280 \text{ м}^3 / (\text{кВт} \cdot \text{год})$$



Годинна витрата газу.

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

$$B = 168,1 \text{ м}^3 / \text{год}$$

10 Основні розміри циліндра і двигуна.

Літраж двигуна.

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

$Z = 4$  - Коефіцієнт тактності.

$$V_{st} = 100,24 \text{ Л}$$

Робочий об'єм циліндра.

$$V_s = \frac{V_{st}}{i}, \text{ Л}$$

$$V_s = 16,71 \text{ Л}$$

Діаметр циліндра.

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

$$m = \frac{S_{пп}}{D_{пп}}$$

$$D_{пп} = 0,25 \text{ м}$$

$$m = 1,36$$

$$D = 250,1 \text{ мм}$$

$$S = m \times D, \text{ мм}$$

$$S = 340,2 \text{ мм}$$

11 Уточненні розміри циліндра і двигуна.

Діаметр циліндра.

$$D = 250 \text{ мм}$$

Хід поршня.

$$S = 340 \text{ мм}$$

Літраж двигуна.

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

$$V_{st} = 100,09 \text{ Л}$$

Робочий об'єм ходу поршня.

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

$$V_s = 16,68 \text{ л}$$

Ефективна потужність двигуна.

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

$$P_{ep} = 599,1 \text{ кВт}$$

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

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

$$P_{еср} = \frac{P_{ep} + P_e}{2}$$

$$P_{еср} = 599,5 \text{ кВт}$$

$$\Delta P_e = 0,15 \%$$

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

## 2.4 Аналіз індикаторних та ефективних показників проектного двигуна в порівнянні з базовим

Для можливості проведення аналізу індикаторних та ефективних показників запроектованого двигуна 6ГЧН25/34 складаємо порівняльну таблицю параметрів двигуна – прототипу та запроектованого.

Таблиця 2.5 Основні параметри газового двигуна – прототипу та проектного

| Найменування параметра                                                  | Значення               |                            |
|-------------------------------------------------------------------------|------------------------|----------------------------|
| Тип двигуна                                                             | 6ГЧН25/34.<br>прототип | 6ГЧН25/34.<br>проектований |
| Номінальна ефективна потужність, $P_e$ , кВт                            | 540                    | 600                        |
| Номінальна частота обертання колінчастого валу, $n$ , хв. <sup>-1</sup> | 600                    | 750                        |
| Ступінь стиску, $\epsilon$                                              | 10,5                   | 10,5                       |
| Коефіцієнт надлишку повітря, $\alpha$                                   | 1,75                   | 1,75                       |
| Тиск наддуву, $p_b$ , МПа                                               | 0,170                  | 0,190                      |
| Нижча теплота згоряння палива $Q_H$ , кДж/м <sup>3</sup>                | 33500                  | 33500                      |
| Максимальна температура циклу, $T_z$ , К                                | 1750                   | 1778                       |
| Максимальний тиск згоряння, $p_{max}$ , МПа                             | 8,0                    | 8,5                        |
| Середній індикаторний тиск, $p_i$ , МПа                                 | 1,15                   | 1,09                       |
| Індикаторний ККД циклу, $\eta_i$                                        | 0,43                   | 0,44                       |
| Питома індикаторна витрата палива, $b_i$ , м <sup>3</sup> /(кВт·год)    | 0,26                   | 0,25                       |
| Механічний ККД двигуна, $\eta_m$                                        | 0,86                   | 0,88                       |
| Ефективний ККД циклу, $\eta_i$                                          | 0,37                   | 0,384                      |
| Середній ефективний тиск, $p_{me}$ , МПа                                | 0,99                   | 0,96                       |
| Питома витрата газового палива, $b_e$ , кВт/год                         | 0,30                   | 0,28                       |

Із аналізу індикаторних та ефективних параметрів робочого циклу газових двигунів 6ГЧН25/34 прототипа та проектного, приведених таблиці 2.4, можна зробити висновок, що збільшення потужності запроектованого двигуна 6ГЧН25/34 до 600 кВт стало можливим завдяки підвищенню частоти обертання колінчастого валу з  $600 \text{ хв}^{-1}$  до  $750 \text{ хв}^{-1}$ , а також застосуванню турбокомпресора з тиском наддуву  $p_k = 0,19 \text{ МПа}$ . Зменшення питомої витрати газового палива досягнуто за рахунок зменшення механічних витрат в двигуні завдяки застосуванню колінчастого валу з противагами на його щоках.

|    |       |          |        |      |                        |       |
|----|-------|----------|--------|------|------------------------|-------|
|    |       |          |        |      | ПФ НУК 131.61.20.05 ПЗ | Аркуш |
|    |       |          |        |      |                        |       |
| Зм | Аркуш | № докум. | Підпис | Дата |                        |       |

## 2.5 Динамічний розрахунок та побудова графіків сил, діючих на КШМ.

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

Розглянемо сили, що діють на на деталі КШМ:

Сили тиску газів на поршень

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

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

$D$  – діаметр поршня, м

сили інерції мас КШМ, що рухаються зворотно- поступально

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

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

$r$  – радіус кривошипу, м

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

$\varphi$  – кут повороту колінчастого валу, град

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

Сумарна сила

$$F_d = F_r + F_{in}, \text{ Н}$$

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

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

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

Радіальна сила, що діє на коліно колінчастого валу

|    |       |          |        |      |                        |       |
|----|-------|----------|--------|------|------------------------|-------|
|    |       |          |        |      | ПФ НУК 131.61.21.05 ПЗ | Аркуш |
|    |       |          |        |      |                        |       |
| Зм | Аркуш | № докум. | Підпис | Дата |                        |       |

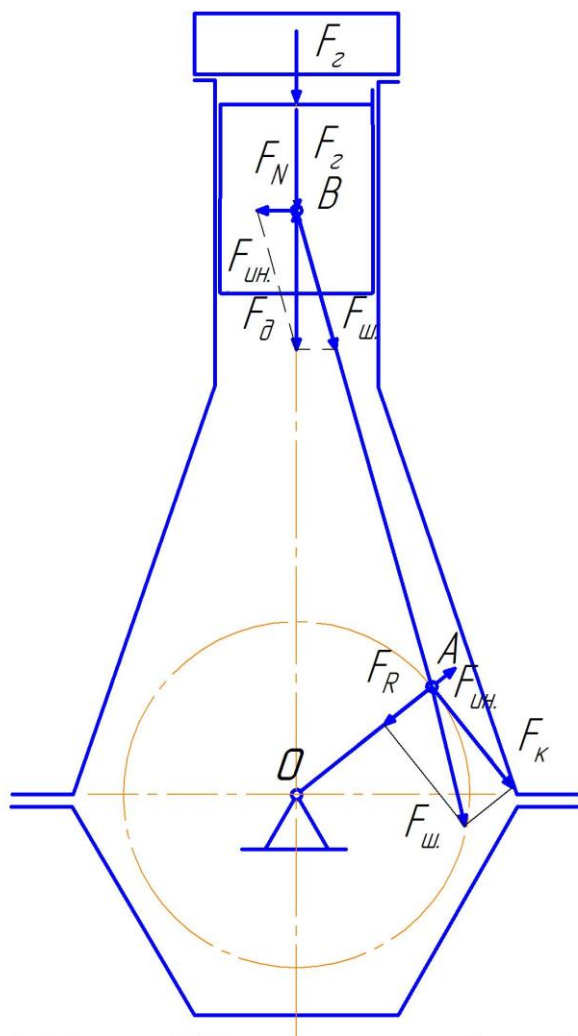


Рис.2.1 Схема КШМ та сили, що діють в ньому

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

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

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

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

- |                                                   |                               |
|---------------------------------------------------|-------------------------------|
| а) Діаметр поршня                                 | $D = 0,25 \text{ м}$          |
| б) Частота обертання колінчастого валу            | $n = 750 \text{ хв}^{-1}$     |
| в) Ордината прийнята для $P_{\max}$               | $h_{\max} = 213,8 \text{ мм}$ |
| г) Максимальний тиск згоряння                     | $p_{\max} = 9,69 \text{ МПа}$ |
| д) Кривошипно- шатунне відношення $\lambda = R/L$ | $\lambda = 0,17/0,69 = 0,246$ |

|    |       |          |        |      |                        |       |
|----|-------|----------|--------|------|------------------------|-------|
|    |       |          |        |      | ПФ НУК 131.61.21.05 ПЗ | Аркуш |
| Зм | Аркуш | № докум. | Підпис | Дата |                        |       |

- э) Масштаб індикаторної діаграми  $m_p = 0,05 \text{ МПа/мм}$
- ж) маса деталей, що рухаються зворотно – поступально  
 $m_s = 80,6 \text{ кг}$
- з) радіус кривошипу  $R = 0,17 \text{ м}$
- л) кут максимального тиску  $\Delta\varphi = 10^\circ$
- к) кутова швидкість колінчастого валу  $\omega = \pi \cdot n / 30 =$   
 $= 3,14 \cdot 750 / 30 = 78,5 \text{ рад/с.}$

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

|    |       |          |        |      |                        |       |
|----|-------|----------|--------|------|------------------------|-------|
|    |       |          |        |      | ПФ НУК 131.61.21.05 ПЗ | Аркуш |
|    |       |          |        |      |                        |       |
| Зм | Аркуш | № докум. | Підпис | Дата |                        |       |

Таблиця 2.4 Результати динамічного розрахунку газового двигуна 6ГЧН25/34

| $\varphi^\circ$ | РЦ    | F <sub>Г</sub> | F <sub>и</sub> | F <sub>d</sub> | F <sub>N</sub> | F <sub>r</sub> | F <sub>k</sub> | F <sub>Г</sub> | F <sub>и</sub> | F <sub>d</sub> | F <sub>N</sub> | F <sub>r</sub> | F <sub>k</sub> |
|-----------------|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| ПКВ             | ММ    | кН             | кН             | кН             | кН             | кН             | кН             | ММ             | ММ             | ММ             | ММ             | ММ             | ММ             |
| 0               | 3,8   | 9,32           | -103,77        | -94,45         | 0,00           | -94,45         | 0,00           | 3,8            | -42,3          | -38,5          | 0,0            | -38,5          | 0,0            |
| 15              | 3,8   | 9,32           | -98,19         | -88,87         | -5,67          | -84,37         | -28,48         | 3,8            | -40,1          | -36,2          | -2,3           | -34,4          | -11,6          |
| 30              | 3,8   | 9,32           | -82,37         | -73,05         | -9,05          | -58,73         | -44,36         | 3,8            | -33,6          | -29,8          | -3,7           | -24,0          | -18,1          |
| 45              | 3,8   | 9,32           | -58,89         | -49,57         | -8,76          | -28,86         | -41,24         | 3,8            | -24,0          | -20,2          | -3,6           | -11,8          | -16,8          |
| 60              | 3,8   | 9,32           | -31,40         | -22,08         | -4,81          | -6,87          | -21,52         | 3,8            | -12,8          | -9,0           | -2,0           | -2,8           | -8,8           |
| 75              | 3,8   | 9,32           | -3,81          | 5,51           | 1,35           | 0,12           | 5,67           | 3,8            | -1,6           | 2,2            | 0,5            | 0,1            | 2,3            |
| 90              | 3,8   | 9,32           | 20,49          | 29,81          | 7,57           | -7,57          | 29,81          | 3,8            | 8,4            | 12,2           | 3,1            | -3,1           | 12,2           |
| 105             | 3,8   | 9,32           | 39,30          | 48,62          | 11,89          | -24,07         | 43,88          | 3,8            | 16,0           | 19,8           | 4,9            | -9,8           | 17,9           |
| 120             | 3,8   | 9,32           | 51,89          | 61,21          | 13,35          | -42,16         | 46,33          | 3,8            | 21,2           | 25,0           | 5,4            | -17,2          | 18,9           |
| 135             | 3,8   | 9,32           | 58,89          | 68,21          | 12,05          | -56,75         | 39,71          | 3,8            | 24,0           | 27,8           | 4,9            | -23,1          | 16,2           |
| 150             | 3,8   | 9,32           | 61,88          | 71,20          | 8,82           | -66,08         | 27,96          | 3,8            | 25,2           | 29,0           | 3,6            | -27,0          | 11,4           |
| 165             | 3,8   | 9,32           | 62,70          | 72,02          | 4,60           | -70,76         | 14,20          | 3,8            | 25,6           | 29,4           | 1,9            | -28,9          | 5,8            |
| 180             | 3,8   | 9,32           | 62,80          | 72,12          | 0,00           | -72,12         | 0,00           | 3,8            | 25,6           | 29,4           | 0,0            | -29,4          | 0,0            |
| 195             | 3,8   | 9,32           | 62,70          | 72,02          | -4,60          | -70,76         | -14,20         | 3,8            | 25,6           | 29,4           | -1,9           | -28,9          | -5,8           |
| 210             | 3,9   | 9,57           | 61,88          | 71,45          | -8,86          | -66,30         | -28,06         | 3,9            | 25,2           | 29,1           | -3,6           | -27,0          | -11,4          |
| 225             | 4,1   | 10,06          | 58,89          | 68,95          | -12,18         | -57,37         | -40,14         | 4,1            | 24,0           | 28,1           | -5,0           | -23,4          | -16,4          |
| 240             | 4,6   | 11,28          | 51,89          | 63,17          | -13,77         | -43,51         | -47,82         | 4,6            | 21,2           | 25,8           | -5,6           | -17,7          | -19,5          |
| 255             | 5,5   | 13,49          | 39,30          | 52,79          | -12,91         | -26,14         | -47,65         | 5,5            | 16,0           | 21,5           | -5,3           | -10,7          | -19,4          |
| 270             | 7,0   | 17,17          | 20,49          | 37,66          | -9,56          | -9,56          | -37,66         | 7,0            | 8,4            | 15,4           | -3,9           | -3,9           | -15,4          |
| 285             | 9,4   | 23,06          | -3,81          | 19,25          | -4,71          | 0,43           | -19,81         | 9,4            | -1,6           | 7,9            | -1,9           | 0,2            | -8,1           |
| 300             | 13,8  | 33,85          | -31,40         | 2,46           | -0,54          | 0,76           | -2,39          | 13,8           | -12,8          | 1,0            | -0,2           | 0,3            | -1,0           |
| 315             | 22,2  | 54,46          | -58,89         | -4,43          | 0,78           | -2,58          | 3,69           | 22,2           | -24,0          | -1,8           | 0,3            | -1,1           | 1,5            |
| 330             | 38,2  | 93,71          | -82,37         | 11,34          | -1,41          | 9,12           | -6,89          | 38,2           | -33,6          | 4,6            | -0,6           | 3,7            | -2,8           |
| 345             | 73,9  | 181,29         | -98,19         | 83,10          | -5,30          | 78,89          | -26,63         | 73,9           | -40,1          | 33,9           | -2,2           | 32,2           | -10,9          |
| 360             | 112,0 | 274,75         | -103,77        | 170,98         | 0,00           | 170,98         | 0,00           | 112,1          | -42,3          | 69,7           | 0,0            | 69,7           | 0,0            |
| 375             | 155,7 | 381,95         | -98,19         | 283,76         | 18,10          | 269,41         | 90,93          | 155,8          | -40,1          | 115,7          | 7,4            | 109,9          | 37,1           |
| 390             | 94,1  | 230,84         | -82,37         | 148,47         | 18,40          | 119,38         | 90,17          | 94,2           | -33,6          | 60,6           | 7,5            | 48,7           | 36,8           |
| 405             | 55,6  | 136,39         | -58,89         | 77,50          | 13,69          | 45,12          | 64,48          | 55,6           | -24,0          | 31,6           | 5,6            | 18,4           | 26,3           |
| 420             | 35,8  | 87,82          | -31,40         | 56,42          | 12,30          | 17,56          | 55,02          | 35,8           | -12,8          | 23,0           | 5,0            | 7,2            | 22,4           |
| 435             | 25,0  | 61,33          | -3,81          | 57,52          | 14,07          | 1,30           | 59,20          | 25,0           | -1,6           | 23,5           | 5,7            | 0,5            | 24,1           |



|                                |      |       |         |        |        |        |        |      |       |       |      |       |       |
|--------------------------------|------|-------|---------|--------|--------|--------|--------|------|-------|-------|------|-------|-------|
| <b>450</b>                     | 18,6 | 45,63 | 20,49   | 66,12  | 16,78  | -16,78 | 66,12  | 18,6 | 8,4   | 27,0  | 6,8  | -6,8  | 27,0  |
| <b>Продовження таблиці 2.4</b> |      |       |         |        |        |        |        |      |       |       |      |       |       |
| <b>465</b>                     | 15,3 | 37,53 | 39,30   | 76,83  | 18,79  | -38,04 | 69,35  | 15,3 | 16,0  | 31,3  | 7,7  | -15,5 | 28,3  |
| <b>480</b>                     | 14,0 | 34,34 | 51,89   | 86,23  | 18,80  | -59,40 | 65,28  | 14,0 | 21,2  | 35,2  | 7,7  | -24,2 | 26,6  |
| <b>495</b>                     | 12,4 | 30,42 | 58,89   | 89,31  | 15,78  | -74,31 | 52,00  | 12,4 | 24,0  | 36,4  | 6,4  | -30,3 | 21,2  |
| <b>510</b>                     | 10,5 | 25,76 | 61,88   | 87,64  | 10,86  | -81,33 | 34,41  | 10,5 | 25,2  | 35,7  | 4,4  | -33,2 | 14,0  |
| <b>525</b>                     | 8,4  | 20,61 | 62,70   | 83,31  | 5,31   | -81,85 | 16,43  | 8,4  | 25,6  | 34,0  | 2,2  | -33,4 | 6,7   |
| <b>540</b>                     | 6,9  | 16,93 | 62,80   | 79,72  | 0,00   | -79,72 | 0,00   | 6,9  | 25,6  | 32,5  | 0,0  | -32,5 | 0,0   |
| <b>555</b>                     | 4,7  | 11,53 | 62,70   | 74,23  | -4,74  | -72,93 | -14,64 | 4,7  | 25,6  | 30,3  | -1,9 | -29,7 | -6,0  |
| <b>570</b>                     | 3,7  | 8,95  | 61,88   | 70,84  | -8,78  | -65,73 | -27,81 | 3,7  | 25,2  | 28,9  | -3,6 | -26,8 | -11,3 |
| <b>585</b>                     | 3,6  | 8,83  | 58,89   | 67,72  | -11,96 | -56,34 | -39,43 | 3,6  | 24,0  | 27,6  | -4,9 | -23,0 | -16,1 |
| <b>600</b>                     | 3,6  | 8,83  | 51,89   | 60,72  | -13,24 | -41,82 | -45,96 | 3,6  | 21,2  | 24,8  | -5,4 | -17,1 | -18,7 |
| <b>615</b>                     | 3,6  | 8,83  | 39,30   | 48,13  | -11,77 | -23,83 | -43,44 | 3,6  | 16,0  | 19,6  | -4,8 | -9,7  | -17,7 |
| <b>630</b>                     | 3,6  | 8,83  | 20,49   | 29,32  | -7,44  | -7,44  | -29,32 | 3,6  | 8,4   | 12,0  | -3,0 | -3,0  | -12,0 |
| <b>645</b>                     | 3,6  | 8,83  | -3,81   | 5,02   | -1,23  | 0,11   | -5,17  | 3,6  | -1,6  | 2,0   | -0,5 | 0,0   | -2,1  |
| <b>660</b>                     | 3,6  | 8,59  | -31,40  | -22,81 | 4,97   | -7,10  | 22,24  | 3,5  | -12,8 | -9,3  | 2,0  | -2,9  | 9,1   |
| <b>675</b>                     | 3,6  | 8,83  | -58,89  | -50,06 | 8,84   | -29,14 | 41,65  | 3,6  | -24,0 | -20,4 | 3,6  | -11,9 | 17,0  |
| <b>690</b>                     | 3,6  | 8,83  | -82,37  | -73,54 | 9,11   | -59,13 | 44,66  | 3,6  | -33,6 | -30,0 | 3,7  | -24,1 | 18,2  |
| <b>705</b>                     | 3,6  | 8,83  | -98,19  | -89,36 | 5,70   | -84,84 | 28,63  | 3,6  | -40,1 | -36,4 | 2,3  | -34,6 | 11,7  |
| <b>720</b>                     | 3,6  | 8,83  | -103,77 | -94,94 | 0,00   | -94,94 | 0,00   | 3,6  | -42,3 | -38,7 | 0,0  | -38,7 | 0,0   |

### 3 НАУКОВИЙ РОЗДІЛ

#### 3.1 Опис та аналіз конструкцій колінчастих валів ДВЗ.

Колінчастий вал є днією із найбільш відповідальних, напружених та дорогих деталей двигуна.

Колінчастий вал навантажується періодичними силами від тиску газів, сил інерції мас, що рухаються поступально та від сил інерції мас, що обертаються. Ці сили визивають тертя та зношування шийок вала та підшипників, явища втоми в місцях переходів шийок в щоки і в місцях виходів масляних каналів, а також крутильні, згинальні та вістові коливання.

Основні вимоги, що пред'являються до конструкції валів, є:

- достатня міцність, жорсткість та зносостійкість при відносно невеликій масі; надійність роботи при різних умовах експлуатації;
- висока точність виготовлення шатунних та рамових шийок;
- достатня твердість та ступінь чистоти обробки поверхні шийок;
- динамічна врівноваженість та відсутність вібрації; для швидкохідних двигунів розвантаження рамових підшипників від відцентрових сил інерції.

Особливо важливо забезпечити достатню жорсткість окремих елементів колін та вала в цілому.

##### 3.1.1 Конструктивні форми валів

Колінчасті вали виготовляють із сталі ковкою та штамповкою або відливкою із чавуну. Леговані сталі для виготовлення колінчастих валів по можливості застосовувати не потрібно, так як модуль пружності  $E$ , що входить у формулу для визначення деформації, для всіх сталей є практично величиною постійною. Застосування валів із вуглецевих сталей для двигунів малої та середньої напруженості пояснюється порівняною дешевизною термообробки та їх пластичними властивостями.

Для валів стаціонарних, судових та тепловозних двигунів частіше застосовують сталі 35,40,50,37Г,45Г,50Г та інші. Вали швидкохідних двигунів

|    |       |          |        |      |                        |       |
|----|-------|----------|--------|------|------------------------|-------|
|    |       |          |        |      | ПФ НУК 131.61.21.05 ПЗ | Аркуш |
| Зм | Аркуш | № докум. | Підпис | Дата |                        |       |

виготовляють із тих же сталей, а також із хромових, хромонікелевих, та хромомолібденових 40Х, 40ХН, 30ХНМА, 18Х2Н4МА та інших. Для валів автомобільних та тракторних двигунів застосовують сталі 45, 45А, 50Г, 40Х, 45Г2, 38ХГН, 40ГМ, 40ХНМ.

В суднових, стаціонарних, тепловозних і автотракторних двигунах часто застосовують литі колінчасті вали із спеціального модифікованого чавуну із кульоподібним графітом марок СЧ38, СЧ35 та інших перлітно-феритної структури та із вуглецевої та легованої сталей.

Виготовлення литих чавунних валів простіше і дешевше; витрачається менше металу та часу на обробку, ніж на виготовлення сталевих штампованих або кованих валів, причому економія металу збільшується по мірі ускладнення конструкції валу, підвищується зносостійкість шийок внаслідок наявності в чавуні графіту, підвищується надійність роботи валу завдяки підвищеній циклічній в'язкості чавуну. В той же час слід відмітити їх гірші механічні властивості (ніж у сталевих кованих) та трудність знаходження внутрішніх ливарних пороків.

При застосуванні твердих сплавів для підшипників, в частості свинцевої бронзи, шийкам надають високу твердість термообробкою. Термообробку застосовують для підвищення зносостійкості також і у випадку заливки підшипника бабітом.

Вибір раціональної схеми колінчастого валу роблять після визначення розташування колін валу, яке виконується після динамічного розрахунку та ескізних розробок, пов'язаних з призначенням та габаритними розмірами конструкції.

Взаємне положення колін валу залежить від числа тактів двигуна, числа та розташування циліндрів і порядку роботи циліндрів.

Коліна вала розташовують так, щоб отримати:

- найбільшу рівномірність ходу, тобто рівномірність зміни крутного моменту від часу;

|    |       |          |        |      |                        |       |
|----|-------|----------|--------|------|------------------------|-------|
|    |       |          |        |      | ПФ НУК 131.61.21.05 ПЗ | Аркуш |
| Зм | Аркуш | № докум. | Підпис | Дата |                        |       |

- найкращу врівноваженість двигуна;
- рівномірне навантаження частин колінчастого валу ( послідовно працюючі циліндри не мають бути суміжними, їх потрібно розташовувати по можливості по обидві сторони від середнього підшипника;
- найменше напруження від крутильних та згинальних коливань;
- найкраще використання енергії випускних газів при наявності газової турбіни.

Розміри елементів коліна вала визначаються в основному відстанню між висями циліндрів, які в свою чергу залежать від діаметра циліндру, товщини стінок гільзи та сорочки циліндру, простором для охолоджуючої рідини, а також каналами для продув очного повітря та відпрацьованих газів у випадку двохтактного двигуна.

При зменшенні відстані між висями циліндрів, наряду із зменшенням габаритних розмірів двигуна, збільшується жорсткість та міцність валу, але робота підшипників внаслідок зменшення їх довжини може стати ненадійною.

В залежності від розміру шийок та щоків, а також від числа колін вали виготовляють цільними (рис.3.1,а), із складеними колінами (рис.3.1,б) і складеними із двох або більше ділянок, що з'єднуються фланцями.

Цільні вали застосовують в двигунах внутрішнього згоряння усіх типів.

Вали із складеними колінами застосовують в крупних (мало оборотних) двигунах. Шийки та щоки таких валів виготовляють окремо. В останні роки частіше і в цих двигунах застосовують напівскладені коліна, в яких шатунні шийки виконують з одно ціле із щоками.

В складених або напівскладених колінах шийки запресовують в щоки звичайно при слабому нагріванні (до 200...250°C) при натягу (1/800...1/1000), що забезпечує міцність з'єднання навіть без постановки шпонок або штифтів.

|    |       |          |        |      |                        |       |
|----|-------|----------|--------|------|------------------------|-------|
|    |       |          |        |      | ПФ НУК 131.61.21.05 ПЗ | Аркуш |
| Зм | Аркуш | № докум. | Підпис | Дата |                        |       |

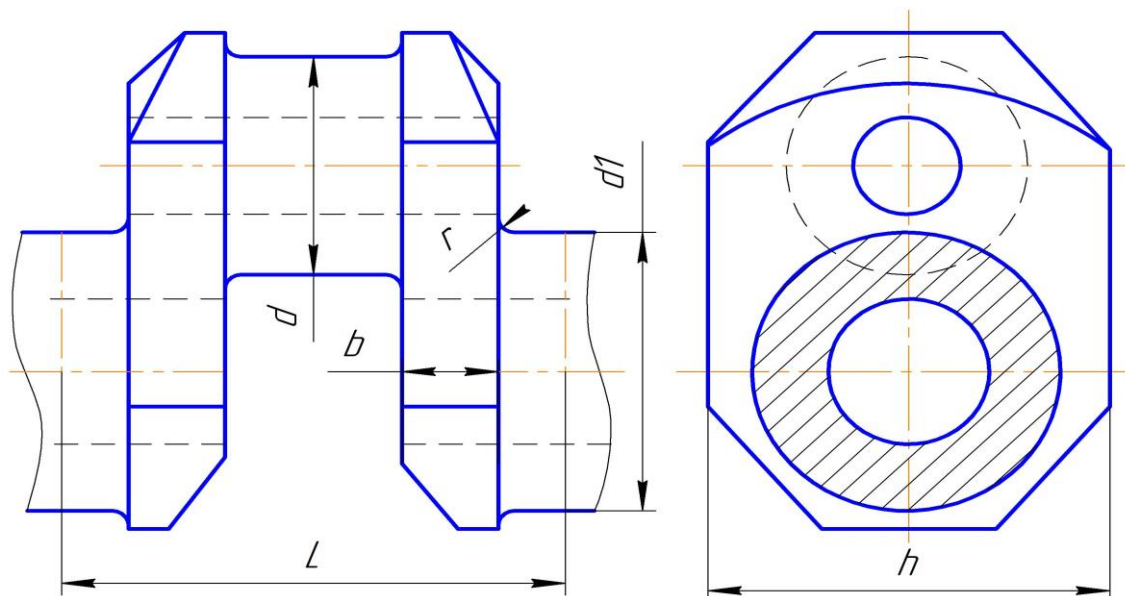


Рисунок 3.1 Розрахункова схема коліна

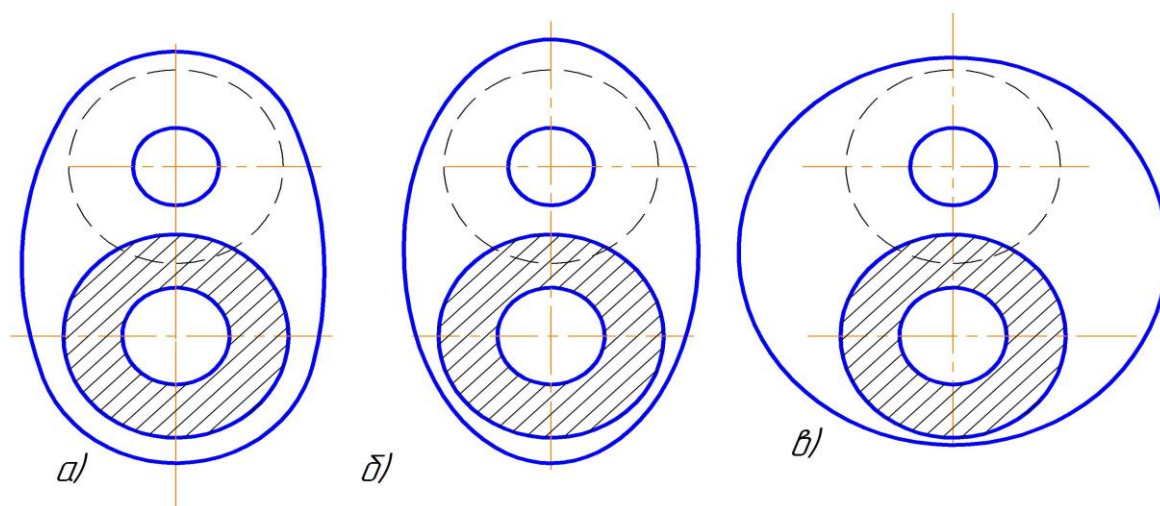


Рисунок 3.2 Форми щоків коліна

### 3.1.3 Вплив числа опор на конструктивну форму валу

Найбільш часто колінчасті вали мають число опор, що перевищує на одиницю число колін (повно опорні вали). В частості, двигуни із запалюванням від стиску усіх типів мають, як правило, вказане число опор.

Колінчасті вали карбюраторних двигунів автомобільних і тракторних двигунів, а також промислових та суднових двигунів малої потужності і

|    |       |          |        |      |                        |  |       |
|----|-------|----------|--------|------|------------------------|--|-------|
|    |       |          |        |      | ПФ НУК 131.61.21.05 ПЗ |  | Аркуш |
| Зм | Аркуш | № докум. | Підпис | Дата |                        |  |       |

швидкохідності мають менше число опор (неповно опорні вали). В цьому випадку поміж двома опорами розташовують два коліна валу і, як виняток, три коліна. При такій конструкції можна скоротити довжину валу та габаритні розміри двигуна. Зменшення числа опор визиває збільшення деформації вала і навантаження на підшипники, пов'язане із збільшенням зношування підшипників та шийок. Для запобігання цьому приходиться збільшувати розміри вала, що приводить до збільшення його ваги.

#### 3.1.4 Конструкції елементів колінчастого вала

Колінчастий вал складається із колін, кінця із сторони відбору потужності та вільного переднього кінця. Звичайна конструкція коліна вала показана на рис.3.2,а,б,в,г. Кінець валу із сторони відбору потужності для з'єднання з генератором, муфтою, маховиком, гвинтом, пружним елементом і т.п. має ділянку із шліцами або фланцем. На його шийці інколи монтують шестерню передачі до розподільчого валу. Рамові (корінні) шийки, як правило виконують усі однакового діаметра. Крайня рамова шийка, якщо рахувати із сторони відбору потужності, звичайно фіксує вал віс вістових переміщень; інколи вал фіксують на середній шийці.

Шатунні шийки можуть мати той же діаметр, що і рамові, або часто, особливо у швидкохідних двигунах, менший діаметр. Як рамові, так і шатунні шийки часто висвердлюють для зменшення маси. Цим також перевіряють і якість поковок (відсутність тріщин, усадочних раковин і таке інше.) Збільшення діаметра шатунної шийки приводить до зростання розмірів кривошипної головки шатуна та габаритних розмірів картера; крім того, збільшуються обертальні маси, сили інерції, а частота вільних коливань системи валу зменшується. Рамові шийки частіше, ніж шатунні виконують без порожнин. Але для більш простого підводу масла і в цьому випадку раціонально застосовувати полі шийки в двигунах усіх призначень.

Щоки колінчастих валів мають різні форми (рис.3.1, а-г): призматичні (в частості , прямокутні), шести – або восьмигранні, овальні, еліптичні, круглі.

|    |       |          |        |      |                        |       |
|----|-------|----------|--------|------|------------------------|-------|
|    |       |          |        |      | ПФ НУК 131.61.21.05 ПЗ | Аркуш |
| Зм | Аркуш | № докум. | Підпис | Дата |                        |       |

Еліптичні та круглі щоки застосовують головним чином у валах швидкохідних та легких двигунів підвищеної потужності.

Найбільш простою у виготовленні є щока прямокутної форми, найбільш складною і в той же самий час раціональною з точки розподілу напружень – овальна. Для кращого використання матеріалу не працюючі, найбільш віддалені від вісі валу частини щоки зрізають, внаслідок чого зменшуються неврівноважені маси частин, що обертаються.

Вали автомобільних і тракторних двигунів, що виготовляються штамповкою, часто мають прямокутні щоки із заокругленими краями. В цих двигунах застосовують також і вали із щоками овальної форми. Якщо поміж колінами розташовані два коліна, приходиться застосовувати довгі щоки, що ускладнює та робить важчим вал.

Для круглих щоків (рис.3.1) відмітимо такі переваги: можливість зменшення товщини щоків та збільшення довжини шийок, що сприяє зменшенню зношування, а також більша простота обробки щоків. Але деякі дослідження показують, що еліптичні щоки, які наближаються до круглих, мають не меншу, в порівнянні з останніми, міцність на втому при дещо меншій масі.

У випадку застосування зменшеного відношення  $S/D$  в поєднанні із збільшеними діаметрами шийок можливо отримати значне перекриття шийок

$$\Delta = \frac{d + d_1}{2} - R \quad (\text{див. рис.3.1, в, г}); \quad \text{при цьому підвищується міцність і з'являється}$$

можливість зменшити товщину щоки  $b$  без збільшення її ширини  $h$ .

Переходи від щок до шийок слід виконувати з відносно великим радіусом закруглень (галтелей) для зменшення концентрації напружень. Збільшенню радіуса галтелі заважає зменшення робочої довжини шийки. В швидкохідних двигунах для запобігання при шліфувці каменем торцевих поверхонь шийки спрягають не безпосередньо із щоками, а із спеціальними відшліфованими кільцевими бортиками, що обмежують переміщення у вістовому напрямку кривошипної головки шатуна. Бортики, у свою чергу,

|    |       |          |        |      |                        |       |
|----|-------|----------|--------|------|------------------------|-------|
|    |       |          |        |      | ПФ НУК 131.61.21.05 ПЗ | Аркуш |
| Зм | Аркуш | № докум. | Підпис | Дата |                        |       |

спрягаються із щокми галтелями радіусом  $r \geq (0,07 \dots 0,10)d$ ; в результаті  
спряження шийки із щокою двома радіусами зменшується концентрація  
напружень.

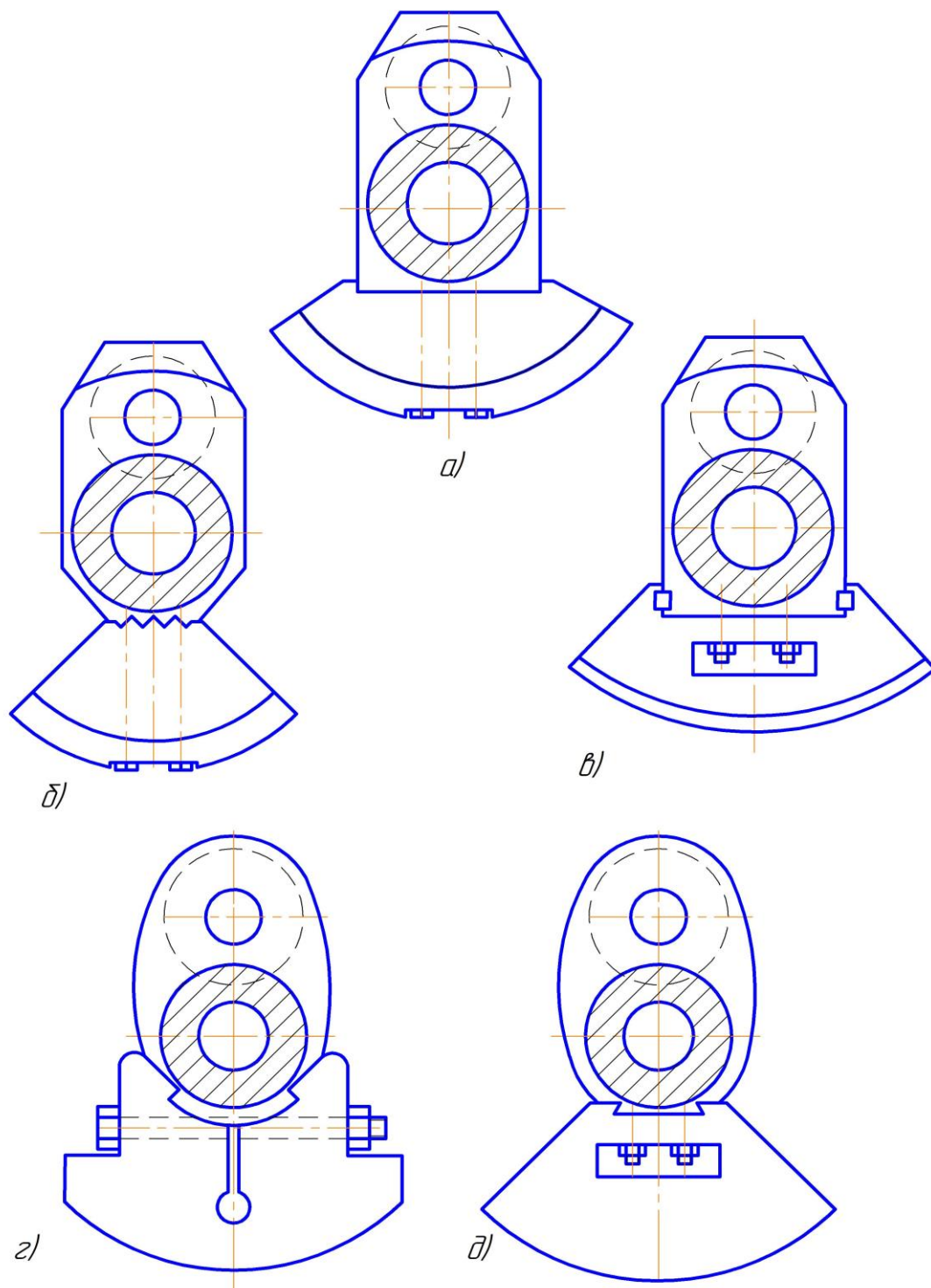


Рисунок 3.3 Способи кріплення противаг на щоках колінчастого валу

|    |       |          |        |      |
|----|-------|----------|--------|------|
|    |       |          |        |      |
| Зм | Аркуш | № докум. | Підпис | Дата |

ПФ НУК 131.61.21.05 ПЗ

Аркуш



На рис 3.3, а-д приведені способи кріплення противаг. При кріпленні по схемам, показаним на рис.3.3. а,б, не виключаються випадки розриву болтів при підвищенні числа оборотів колінчастого вала. Кріплення по схемам, приведеним на рис.3.3,в,г,д, більш надійні, так як в них передбачена розгрузка болтів від сил інерції. В схемі рис.3.3, в болти розвантажуються шпонками, що працюють на зрізання; в схемах рис.3.3,г,д – зубцями противаги; болти у цьому випадку працюють на розтягування від сили затяжки.

В двигунах підвищеної потужності, а також в других швидкохідних двигунах противаги частіше виконують як одне ціле із щоками; при цьому хоча і ускладнюється виготовлення вала, але збільшується надійність роботи конструкції.

В деяких випадках противаги приварюють до щік колінчастого валу. Недоліком такої конструкції є порушення структури матеріалу валу, особливо при виготовленні валу із легованих сталей. В двигунах автомобільного та тракторного типу нерідко противаги встановлюють не на всіх щоках.

В двигунах з кривошипно-камерною продувкою противаги служать також і для заповнення кривошипної камери, відповідно, для зменшення шкідливого простору і отримання необхідного тиску продув очного повітря. Інколи противаги крайнього коліна виконують функцію глушника крутильних коливань.

Вільний кінець вала із сторони, протилежної кінцю відбору потужності, звичайно служить для монтажу шестерні, що приводить в дію масляний та водяний насос, паливний насос та підкачний паливний насос. Тут же розміщують додатковий кривошип або ж інший механізм, що приводить в рух нагнітач, пусковий компресор та допоміжні агрегати. В деяких конструкціях двигунів на вільному кінці вала монтують шестерню привода розподілення. В автомобільних та тракторних двигунах на цьому кінці

|    |       |          |        |      |                        |       |
|----|-------|----------|--------|------|------------------------|-------|
|    |       |          |        |      | ПФ НУК 131.61.21.05 ПЗ | Аркуш |
| Зм | Аркуш | № докум. | Підпис | Дата |                        |       |

розміщують шків приводу вентилятора, храповик, пристрій для запуску двигуна від руки і в деяких випадках глушник крутильних коливань.

До корінних та шатунних шийок мастило звичайно подається під тиском. При цьому вал служить маслопроводом системи змащування. Найбільш часто масло підводиться із масляної мережі по відгалуженням до корінних підшипників під тиском 0,3...0,8 МПа. Із найменш навантажених корінних підшипників масло надходить в порожнини корінних шийок вала, а звідти – по каналам в щоках і шатунних шийках – в масляний зазор шатунних підшипників.

Так як в маслі є домішки (частинки металу, коксу, грязі), то слід застосовувати пристрої, які б запобігали попаданню цих часток в масляний зазор. Більшою мірою вказані функції виконують маслопідвідні трубки, завальковані чи прикріплені відповідним чином до стінки шатунної шийки; трубки опущені на значну глибину в порожнину шатунних шийок (рис.3.4,а). аналогічний результат можливо отримати, розмістивши масляні канали перпендикулярно порожнині коліна (рис.3.4,б).

|    |       |          |        |      |                        |       |
|----|-------|----------|--------|------|------------------------|-------|
|    |       |          |        |      | ПФ НУК 131.61.21.05 ПЗ | Аркуш |
| Зм | Аркуш | № докум. | Підпис | Дата |                        |       |

### 3.2 Визначення навантажень на рамові шийки колінчастого валу

Навантаження на рамові шийки є результатом дії сил на різні кривошипи колінчастого валу. Звичайно при визначенні цих навантажень вал вважають розрізаним на окремі кривошипи по середнім площинам опор. При цьому на опорах складаються сили лише від двох сусідніх кривошипів. Для зручності складання цих сил на опорах застосовується система координат, що обертається разом із валом і осі якої зв'язують з одним із кривошипів.

В результаті проектування всіх сил на осі  $X$  та  $Y$  і складування проекцій отримуємо сили, що діють із сторони валу на рамові підшипники. Сили, що діють на шийки колінчастого валу є реакціями опор. Вони направлені протилежно загрузкам на опори у відповідності з осями  $X$  та  $Y$  (рис.3.5).

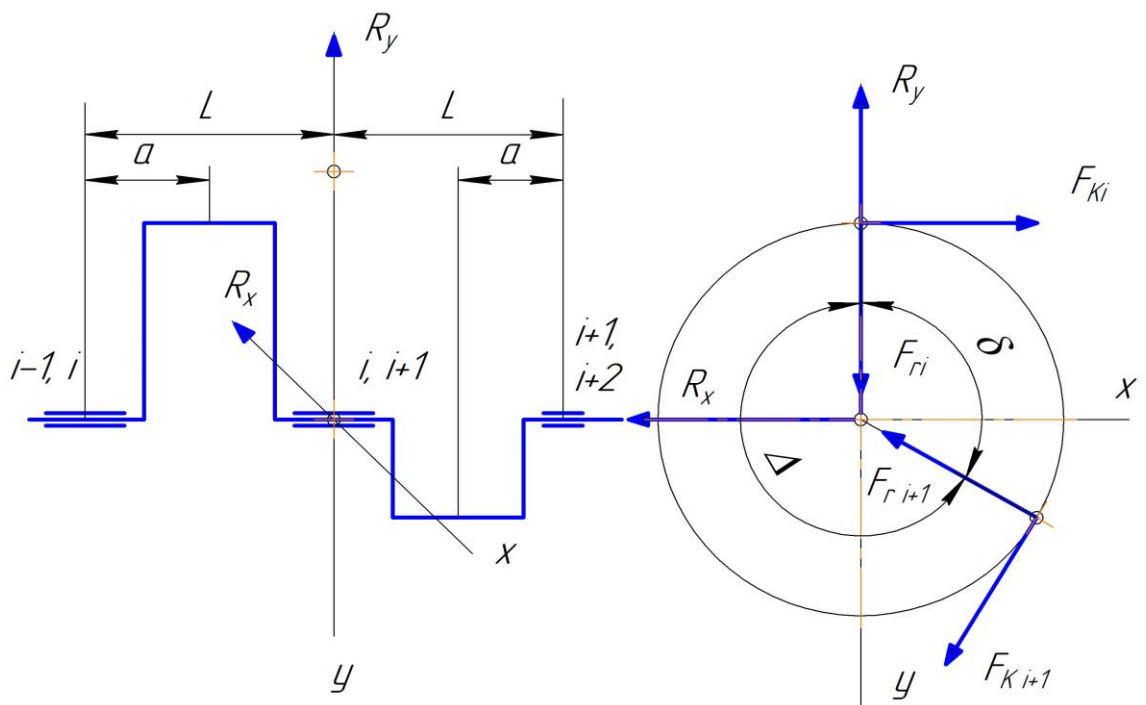


Рисунок 3.5 Схема до розрахунку навантажень на рамові шийки

|    |       |          |        |      |                        |       |
|----|-------|----------|--------|------|------------------------|-------|
|    |       |          |        |      | ПФ НУК 131.61.21.05 ПЗ | Аркуш |
| Зм | Аркуш | № докум. | Підпис | Дата |                        |       |

Проекції всіх сил на осі  $X$  та  $Y$  у відповідності із розрахунковою схемою  $i, i + 1$  опори знаходяться по формулам.

$$Y_{i+1} = F_{Ri} \cdot \frac{a_i}{L_i} \pm F_{Ri+1} \cdot \cos(180^\circ - \delta) \cdot \frac{a_{i+1}}{L_{i+1}} \pm F_{Ki+1} \cdot \sin(180^\circ - \delta) \cdot \frac{a_{i+1}}{L_{i+1}}$$

$$X_{i+1} = F_{Ki} \cdot \frac{a_i}{L_i} \pm F_{Ki+1} \cdot \sin(180^\circ - \delta) \cdot \frac{a_{i+1}}{L_{i+1}} \pm F_{Ri+1} \cdot \cos(180^\circ - \delta) \cdot \frac{a_{i+1}}{L_{i+1}}$$

В нашому випадку

$$\frac{a_i}{L_{i+1}} = \frac{a_{i+1}}{L_{i+1}} = \frac{1}{2}; \quad \delta = 120^\circ - \text{кут поміж колінами для опор 1-2, 2-3, 4-5, 5-6}$$

$$\delta = 180^\circ - \text{кут поміж колінами для опор 3-4}$$

Тоді

- для опор 1-2, 2-3, 4-5, 5-6

$$Y_{i+1} = F_{Ri} \cdot 0,5 \pm F_{Ri+1} \cdot 0,25 \pm F_{Ki+1} \cdot 0,433$$

$$X_{i+1} = F_{Ki} \cdot 0,5 \pm F_{Ki+1} \cdot 0,433 \pm F_{Ri+1} \cdot 0,25$$

- для опори 3-4

$$Y_{i+1} = F_{Ri} \cdot 0,5 \pm F_{Ri+1} \cdot 0,5$$

$$X_{i+1} = F_{Ki} \cdot 0,5 \pm F_{Ki+1} \cdot 0,5$$

Повне навантаження опори знаходиться по формулі

$$K_{i,i+1} = \sqrt{X_{i,i+1}^2 + Y_{i+1}^2}$$

Підрахунок навантажень на опори в рамі у відповідності з вище приведеними формулами зводимо в таблиці

Для визначення характеру навантаження різних опор колінчастого валу складемо наступну таблицю для порядку роботи циліндрів двигуна 1 – 5 – 3 – 6 – 2 – 4

|    |       |          |        |      |                        |       |
|----|-------|----------|--------|------|------------------------|-------|
|    |       |          |        |      | ПФ НУК 131.61.21.05 ПЗ | Аркуш |
|    |       |          |        |      |                        |       |
| Зм | Аркуш | № докум. | Підпис | Дата |                        |       |

Таблиця 3.1 Кути заклинки колін колінчастого валу та порядку роботи циліндрів двигуна

| Кут      | Опора колінчастого валу |      |      |      |      |
|----------|-------------------------|------|------|------|------|
|          | 1 - 2                   | 2-3  | 3-4  | 4-5  | 5-6  |
| $\Delta$ | 240°                    | 240° | 360° | 240° | 240° |
| $\delta$ | 120°                    | 120° | 180° | 120° | 120° |

$\Delta$  – кут поміж спалахами в циліндрах двигуна;

$\delta$  – кут поміж кривошипами (кут заклинки)

Ідентичність навантажень різних опор колінчастого валу визначається рівністю кутів поміж спалахами  $\Delta$ , а також рівністю кутів заклинки  $\delta$ .

Із приведеної таблиці видно, що навантаження на опори 1 – 2, 2 – 3, 4 – 5, 5 – 6 будуть абсолютно однакові поміж собою, отже для них складається одна таблиця. Для опори 3 – 4 складається своя таблиця.

Годографи сил, що діють на рамові шийки у відповідності з вище приведеними таблицями побудовані на листі графічної частини проекту.

Для знаходження радіальної сили, що діє на коліно колінчастого валу визначимо силу інерції  $F_{ин.}$  не врівноважених мас коліна та нижньої головки шатуна.

- Колінчастий вал без противаг встановлених на його щоках.

$$F_{ин1} = \omega^2 \cdot (m_3 \cdot y_{c3} + 2 \cdot m_{ш.ш.} \cdot y_{c1} + m_5 \cdot y_{c5} - m_4 \cdot y_{c4}) = 78,5^2 \cdot (26,8 \cdot 0,17 + 2 \cdot 51,4 \cdot 0,045 + 42,7 \cdot 0,17 - 8,2 \cdot 0,185) = 91817 \text{ Н}$$

де  $\omega = 78,5 \text{ с}^{-1}$  – кутова швидкість обертання колінчастого валу;

$$m_3 = \frac{\pi \cdot d_{ш.ш.}^2 \cdot l_{ш.ш.} \cdot \rho}{4} = \frac{3,141 \cdot 0,18^2}{4} \cdot 0,135 \cdot 7800 = 26,8 \text{ кг} - \text{маса шатунної шийки}$$

коліна;

$d_{ш.ш.} = 0,18 \text{ м}$  – діаметр шатунної шийки;

$l_{ш.ш.} = 0,135 \text{ м}$  – довжина шатунної шийки;

|    |       |          |        |      |                        |       |
|----|-------|----------|--------|------|------------------------|-------|
|    |       |          |        |      | ПФ НУК 131.61.21.05 ПЗ | Аркуш |
|    |       |          |        |      |                        |       |
| Зм | Аркуш | № докум. | Підпис | Дата |                        |       |

$y_{c3} = 0,17\text{м}$  – відстань від осі колінчастого валу до центра маси шатунної шийки

$$m_1 = F_{ш} \cdot h_{ш} \cdot \rho = 0,096 \cdot 0,07 \cdot 7800 = 51,4\text{кг} - \text{маса щоки колінчастого валу};$$

$F_{ш} = 0,096 \text{ м}^2$  – площа щока, знайдена графоаналітичним способом за допомогою графічного редактора Компас.

$h_{ш} = 0,0685 \text{ м}$  – товщина щоки;

$\rho = 7800 \text{ кг/м}^3$  – густина матеріалу колінчастого валу;

(Сталь 40 ГОСТ 1050 – 84)

$y_{c1} = 0,045\text{м}$  - відстань від осі колінчастого валу до центра маси щоки;

$m_5 = 2/3 \cdot m_{ш} = 2 \cdot 64/3 = 42,7 \text{ кг}$  – частина маси шатуна, що обертається разом із шатунною шийкою відносно осі колінчастого валу;

$y_{c5} = 0,17\text{м}$  – відстань від осі колінчастого валу до центра маси нижньої головки шатуна;

$$m_4 = \frac{\pi \cdot d_0^2}{4} \cdot l_0 \cdot \rho = \frac{3,141 \cdot 0,07^2}{4} \cdot 0,272 \cdot 7800 = 8,2\text{кг} - \text{маса отвору в шатунній шийці};$$

$d_0 = 0,07\text{м}$  – діаметр отвору в шатунній шийці;

$l_0 = 0,272\text{м}$  – довжина отвору в шатунній шийці;

$y_{c4} = 0,185\text{м}$  – відстань від осі колінчастого валу до центра маси отвору шатунної шийки;

- Колінчастий вал з противагами встановленими на всіх щоках.

$$F_{ин2} = F_{ин1} - 2 \cdot m_2 \cdot \omega^2 \cdot y_{c2} = 91817 - 2 \cdot 24,6 \cdot 78,5^2 \cdot 0,203 = 30270 \text{ Н}$$

$$\text{де } m_2 = F_{пр} \cdot h_{пр} \cdot \rho = 0,045 \cdot 0,07 \cdot 7800 = 24,6\text{кг} - \text{маса противаги};$$

$F_{пр} = 0,045 \text{ м}^2$  – площа щока, знайдена графоаналітичним способом за допомогою графічного редактора Компас.

$h_{ш} = 0,07 \text{ м}$  – товщина противаги;

$y_{c2} = 0,203\text{м}$  – відстань від осі колінчастого валу до центра маси противаги;

Результати розрахунків сил, що діють на рамові шийки приведені в табл.2 і табл.3.

|    |       |          |        |      |                        |       |
|----|-------|----------|--------|------|------------------------|-------|
|    |       |          |        |      | ПФ НУК 131.61.21.05 ПЗ | Аркуш |
|    |       |          |        |      |                        |       |
| Зм | Аркуш | № докум. | Підпис | Дата |                        |       |

Таблиця 3.2 Розрахунок сил, діючих на рамові шийки колінчастого валу без противаг на щоках

| Циліндр №3            |                     |                     | Циліндр №4            |                       |                       | Опора 3 - 4                                          |                                                      |                                                 |
|-----------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| $\alpha, \text{град}$ | $F_{ri}, \text{кН}$ | $F_{ki}, \text{кН}$ | $\alpha, \text{град}$ | $F_{ri+1}, \text{кН}$ | $F_{ki+1}, \text{кН}$ | $Y_{i+1} = 0,5 \cdot (F_{ri} + F_{ri+1}), \text{кН}$ | $X_{i+1} = 0,5 \cdot (F_{ki} + F_{ki+1}), \text{кН}$ | $K_i = \sqrt{X_{i+1}^2 + Y_{i+1}^2}, \text{кН}$ |
| 0                     | -187,33             | 0                   | 360                   | 83,21                 | 0                     | -52,1                                                | 0,0                                                  | 52,1                                            |
| 15                    | -176,94             | -28,73              | 375                   | 232,47                | 109,62                | 27,8                                                 | 40,4                                                 | 49,1                                            |
| 30                    | -151,01             | -44,73              | 390                   | 49,78                 | 106,94                | -50,6                                                | 31,1                                                 | 59,4                                            |
| 45                    | -120,83             | -41,48              | 405                   | -35,85                | 79,96                 | -78,3                                                | 19,2                                                 | 80,7                                            |
| 60                    | -98,65              | -21,45              | 420                   | -70,4                 | 67,05                 | -84,5                                                | 22,8                                                 | 87,5                                            |
| 75                    | -91,67              | 6,12                | 435                   | -90,3                 | 68,74                 | -91,0                                                | 37,4                                                 | 98,4                                            |
| 90                    | -99,56              | 30,57               | 450                   | -110,64               | 74,24                 | -105,1                                               | 52,4                                                 | 117,4                                           |
| 105                   | -116,37             | 44,8                | 465                   | -132,53               | 74,25                 | -124,5                                               | 59,5                                                 | 138,0                                           |
| 120                   | -134,77             | 47,22               | 480                   | -150,67               | 65,79                 | -142,7                                               | 56,5                                                 | 153,5                                           |
| 135                   | -149,61             | 40,45               | 495                   | -166,75               | 52,45                 | -158,2                                               | 46,5                                                 | 164,9                                           |
| 150                   | -159,09             | 28,47               | 510                   | -174,11               | 34,83                 | -166,6                                               | 31,7                                                 | 169,6                                           |
| 165                   | -163,85             | 14,46               | 525                   | -176,39               | 16,98                 | -170,1                                               | 15,7                                                 | 170,8                                           |
| 180                   | -165,24             | 0                   | 540                   | -173,58               | 0                     | -169,4                                               | 0,0                                                  | 169,4                                           |
| 195                   | -163,85             | -14,46              | 555                   | -165,54               | -14,8                 | -164,7                                               | -14,6                                                | 165,3                                           |
| 210                   | -159,32             | -28,57              | 570                   | -159,32               | -28,57                | -159,3                                               | -28,6                                                | 161,9                                           |
| 225                   | -150,63             | -41,17              | 585                   | -149                  | -40,02                | -149,8                                               | -40,6                                                | 155,2                                           |
| 240                   | -136,63             | -49,27              | 600                   | -133,93               | -46,3                 | -135,3                                               | -47,8                                                | 143,5                                           |
| 255                   | -118,68             | -49                 | 615                   | -115,76               | -43,69                | -117,2                                               | -46,3                                                | 126,0                                           |
| 270                   | -101,74             | -39,16              | 630                   | -99,25                | -29,34                | -100,5                                               | -34,3                                                | 106,2                                           |
| 285                   | -91,32              | -22,03              | 645                   | -91,69                | -4,86                 | -91,5                                                | -13,4                                                | 92,5                                            |
| 300                   | -90,25              | -4,86               | 660                   | -99,03                | 22,64                 | -94,6                                                | 8,9                                                  | 95,1                                            |
| 315                   | -92,4               | 0,86                | 675                   | -121,54               | 42,5                  | -107,0                                               | 21,7                                                 | 109,1                                           |

Продовження таблиці 3.1

| Циліндр №3 | Циліндр №4 | Опора 3 - 4 |
|------------|------------|-------------|
|------------|------------|-------------|

| $\alpha, \text{град}$ | $F_{ri}, \kappa H$ | $F_{ki}, \kappa H$ | $\alpha, \text{град}$ | $F_{ri+1}, \kappa H$ | $F_{ki+1}, \kappa H$ | $Y_{i+1} = 0,5 \cdot (F_{ri} + F_{ri+1}), \kappa H$ | $X_{i+1} = 0,5 \cdot (F_{ki} + F_{ki+1}), \kappa H$ | $K_i = \sqrt{X_{i+1}^2 + Y_{i+1}^2}, \kappa H$ |
|-----------------------|--------------------|--------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| 330                   | -75,27             | -12,48             | 690                   | -152                 | 45,47                | -113,6                                              | 16,5                                                | 114,8                                          |
| 345                   | -14,6              | -26,06             | 705                   | -178,1               | 29,13                | -96,4                                               | 1,5                                                 | 96,4                                           |
| 360                   | 83,21              | 0                  | 0                     | -187,33              | 0                    | -52,1                                               | 0,0                                                 | 52,1                                           |
| 375                   | 232,47             | 109,62             | 15                    | -176,94              | -28,73               | 27,8                                                | 40,4                                                | 49,1                                           |
| 390                   | 49,78              | 106,94             | 30                    | -151,01              | -44,73               | -50,6                                               | 31,1                                                | 59,4                                           |
| 405                   | -35,85             | 79,96              | 45                    | -120,83              | -41,48               | -78,3                                               | 19,2                                                | 80,7                                           |
| 420                   | -70,4              | 67,05              | 60                    | -98,65               | -21,45               | -84,5                                               | 22,8                                                | 87,5                                           |
| 435                   | -90,3              | 68,74              | 75                    | -91,67               | 6,12                 | -91,0                                               | 37,4                                                | 98,4                                           |
| 450                   | -110,64            | 74,24              | 90                    | -99,56               | 30,57                | -105,1                                              | 52,4                                                | 117,4                                          |
| 465                   | -132,53            | 74,25              | 105                   | -116,37              | 44,8                 | -124,5                                              | 59,5                                                | 138,0                                          |
| 480                   | -150,67            | 65,79              | 120                   | -134,77              | 47,22                | -142,7                                              | 56,5                                                | 153,5                                          |
| 495                   | -166,75            | 52,45              | 135                   | -149,61              | 40,45                | -158,2                                              | 46,5                                                | 164,9                                          |
| 510                   | -174,11            | 34,83              | 150                   | -159,09              | 28,47                | -166,6                                              | 31,7                                                | 169,6                                          |
| 525                   | -176,39            | 16,98              | 165                   | -163,85              | 14,46                | -170,1                                              | 15,7                                                | 170,8                                          |
| 540                   | -173,58            | 0                  | 180                   | -165,24              | 0                    | -169,4                                              | 0,0                                                 | 169,4                                          |
| 555                   | -165,54            | -14,8              | 195                   | -163,85              | -14,46               | -164,7                                              | -14,6                                               | 165,3                                          |
| 570                   | -159,32            | -28,57             | 210                   | -159,32              | -28,57               | -159,3                                              | -28,6                                               | 161,9                                          |
| 585                   | -149               | -40,02             | 225                   | -150,63              | -41,17               | -149,8                                              | -40,6                                               | 155,2                                          |
| 600                   | -133,93            | -46,3              | 240                   | -136,63              | -49,27               | -135,3                                              | -47,8                                               | 143,5                                          |
| 615                   | -115,76            | -43,69             | 255                   | -118,68              | -49                  | -117,2                                              | -46,3                                               | 126,0                                          |
| 630                   | -99,25             | -29,34             | 270                   | -101,74              | -39,16               | -100,5                                              | -34,3                                               | 106,2                                          |
| 645                   | -91,69             | -4,86              | 285                   | -91,32               | -22,03               | -91,5                                               | -13,4                                               | 92,5                                           |
| 660                   | -99,03             | 22,64              | 300                   | -90,25               | -4,86                | -94,6                                               | 8,9                                                 | 95,1                                           |
| 675                   | -121,54            | 42,5               | 315                   | -92,4                | 0,86                 | -107,0                                              | 21,7                                                | 109,1                                          |
| 690                   | -152               | 45,47              | 330                   | -75,27               | -12,48               | -113,6                                              | 16,5                                                | 114,8                                          |
| 705                   | -178,1             | 29,13              | 345                   | -14,6                | -26,06               | -96,4                                               | 1,5                                                 | 96,4                                           |

$$K_{cp.} = 116,5 \kappa H$$



Таблиця 3.3 Розрахунок сил, що діють на рамові шийки колінчастого валу із противагами

| Циліндр №3              |               |              | Циліндр №4     |                |                | Опора 3 - 4                                   |                                               |                                          |
|-------------------------|---------------|--------------|----------------|----------------|----------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------------|
| $\alpha$ ,град          | $F_{ri}$ , кН | $F_{ki}$ ,кН | $\alpha$ ,град | $F_{ri+1}$ ,кН | $F_{ki+1}$ ,кН | $Y_{i+1} = 0,5 \cdot (F_{ri} + F_{ri+1})$ ,кН | $X_{i+1} = 0,5 \cdot (F_{ki} + F_{ki+1})$ ,кН | $K_i = \sqrt{X_{i+1}^2 + Y_{i+1}^2}$ ,кН |
| 0                       | -125,63       | 0            | 360            | 144,71         | 0              | 9,5                                           | 0,0                                           | 9,5                                      |
| 15                      | -115,44       | -28,73       | 375            | 294,47         | 109,62         | 89,5                                          | 40,4                                          | 98,2                                     |
| 30                      | -89,51        | -44,73       | 390            | 131,18         | 106,94         | 20,8                                          | 31,1                                          | 37,4                                     |
| 45                      | -59,33        | -41,48       | 405            | 25,65          | 79,96          | -16,8                                         | 19,2                                          | 25,6                                     |
| 60                      | -37,15        | -21,45       | 420            | -8,9           | 67,05          | -23,0                                         | 22,8                                          | 32,4                                     |
| 75                      | -30,17        | 6,12         | 435            | -28,8          | 68,74          | -29,5                                         | 37,4                                          | 47,6                                     |
| 90                      | -38,03        | 30,57        | 450            | -39,14         | 74,24          | -38,6                                         | 52,4                                          | 65,1                                     |
| 105                     | -54,87        | 44,8         | 465            | -71,07         | 74,25          | -63,0                                         | 59,5                                          | 86,7                                     |
| 120                     | -83,27        | 47,22        | 480            | -90,17         | 65,79          | -86,7                                         | 56,5                                          | 103,5                                    |
| 135                     | -88,11        | 40,45        | 495            | -105,25        | 52,45          | -96,7                                         | 46,5                                          | 107,3                                    |
| 150                     | -97,59        | 28,47        | 510            | -112,61        | 34,83          | -105,1                                        | 31,7                                          | 109,8                                    |
| 165                     | -102,32       | 14,46        | 525            | -114,86        | 16,98          | -108,6                                        | 15,7                                          | 109,7                                    |
| 180                     | -103,74       | 0            | 540            | -112,08        | 0              | -107,9                                        | 0,0                                           | 107,9                                    |
| 195                     | -102,35       | -14,46       | 555            | -114,4         | -14,8          | -108,4                                        | -14,6                                         | 109,4                                    |
| 210                     | -97,82        | -28,57       | 570            | -97,82         | -28,57         | -97,8                                         | -28,6                                         | 101,9                                    |
| 225                     | -89,13        | -41,17       | 585            | -87,5          | -40,02         | -88,3                                         | -40,6                                         | 97,2                                     |
| 240                     | -74,13        | -49,27       | 600            | -72,43         | -46,3          | -73,3                                         | -47,8                                         | 87,5                                     |
| 255                     | -57,15        | -49          | 615            | -54,26         | -43,69         | -55,7                                         | -46,3                                         | 72,5                                     |
| 270                     | -39,23        | -39,16       | 630            | -37,75         | -29,34         | -38,5                                         | -34,3                                         | 51,5                                     |
| 285                     | -29,82        | -22,03       | 645            | -30,19         | -4,86          | -30,0                                         | -13,4                                         | 32,9                                     |
| 300                     | -28,75        | -4,86        | 660            | -37,53         | 22,64          | -33,1                                         | 8,9                                           | 34,3                                     |
| 315                     | -30,9         | 0,86         | 675            | -60,01         | 42,5           | -45,5                                         | 21,7                                          | 50,4                                     |
| 330                     | -13,77        | -12,48       | 690            | -90,05         | 45,47          | -51,9                                         | 16,5                                          | 54,5                                     |
| 345                     | 46,9          | -26,06       | 705            | -116,6         | 29,13          | -34,9                                         | 1,5                                           | 34,9                                     |
| Продовження таблиці 3.2 |               |              |                |                |                |                                               |                                               |                                          |
| Циліндр №3              |               |              | Циліндр №4     |                |                | Опора 3 - 4                                   |                                               |                                          |

| $\alpha, \text{град}$ | $F_{ri}, \kappa H$ | $F_{ki}, \kappa H$ | $\alpha, \text{град}$ | $F_{ri+1}, \kappa H$ | $F_{ki+1}, \kappa H$ | $Y_{i+1} = 0,5 \cdot (F_{ri} + F_{ri+1}), \kappa H$ | $X_{i+1} = 0,5 \cdot (F_{ki} + F_{ki+1}), \kappa H$ | $K_i = \sqrt{X_{i+1}^2 + Y_{i+1}^2}, \kappa H$ |
|-----------------------|--------------------|--------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| 360                   | 144,71             | 0                  | 0                     | -125,63              | 0                    | 9,5                                                 | 0,0                                                 | 9,5                                            |
| 375                   | 294,47             | 109,62             | 15                    | -115,44              | -28,73               | 89,5                                                | 40,4                                                | 98,2                                           |
| 390                   | 131,18             | 106,94             | 30                    | -89,51               | -44,73               | 20,8                                                | 31,1                                                | 37,4                                           |
| 405                   | 25,65              | 79,96              | 45                    | -59,33               | -41,48               | -16,8                                               | 19,2                                                | 25,6                                           |
| 420                   | -8,9               | 67,05              | 60                    | -37,15               | -21,45               | -23,0                                               | 22,8                                                | 32,4                                           |
| 435                   | -28,8              | 68,74              | 75                    | -30,17               | 6,12                 | -29,5                                               | 37,4                                                | 47,6                                           |
| 450                   | -39,14             | 74,24              | 90                    | -38,03               | 30,57                | -38,6                                               | 52,4                                                | 65,1                                           |
| 465                   | -71,07             | 74,25              | 105                   | -54,87               | 44,8                 | -63,0                                               | 59,5                                                | 86,7                                           |
| 480                   | -90,17             | 65,79              | 120                   | -83,27               | 47,22                | -86,7                                               | 56,5                                                | 103,5                                          |
| 495                   | -105,25            | 52,45              | 135                   | -88,11               | 40,45                | -96,7                                               | 46,5                                                | 107,3                                          |
| 510                   | -112,61            | 34,83              | 150                   | -97,59               | 28,47                | -105,1                                              | 31,7                                                | 109,8                                          |
| 525                   | -114,86            | 16,98              | 165                   | -102,32              | 14,46                | -108,6                                              | 15,7                                                | 109,7                                          |
| 540                   | -112,08            | 0                  | 180                   | -103,74              | 0                    | -107,9                                              | 0,0                                                 | 107,9                                          |
| 555                   | -114,4             | -14,8              | 195                   | -102,35              | -14,46               | -108,4                                              | -14,6                                               | 109,4                                          |
| 570                   | -97,82             | -28,57             | 210                   | -97,82               | -28,57               | -97,8                                               | -28,6                                               | 101,9                                          |
| 585                   | -87,5              | -40,02             | 225                   | -89,13               | -41,17               | -88,3                                               | -40,6                                               | 97,2                                           |
| 600                   | -72,43             | -46,3              | 240                   | -74,13               | -49,27               | -73,3                                               | -47,8                                               | 87,5                                           |
| 615                   | -54,26             | -43,69             | 255                   | -57,15               | -49                  | -55,7                                               | -46,3                                               | 72,5                                           |
| 630                   | -37,75             | -29,34             | 270                   | -39,23               | -39,16               | -38,5                                               | -34,3                                               | 51,5                                           |
| 645                   | -30,19             | -4,86              | 285                   | -29,82               | -22,03               | -30,0                                               | -13,4                                               | 32,9                                           |
| 660                   | -37,53             | 22,64              | 300                   | -28,75               | -4,86                | -33,1                                               | 8,9                                                 | 34,3                                           |
| 675                   | -60,01             | 42,5               | 315                   | -30,9                | 0,86                 | -45,5                                               | 21,7                                                | 50,4                                           |
| 690                   | -90,05             | 45,47              | 330                   | -13,77               | -12,48               | -51,9                                               | 16,5                                                | 54,5                                           |
| 705                   | -116,6             | 29,13              | 345                   | 46,9                 | -26,06               | -34,9                                               | 1,5                                                 | 34,9                                           |

$$K_{cp} = 69,48 \kappa H$$

## 4 РОЗРОБКА ЗАХОДІВ З ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА ЗАХИСТУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА.

### 4.1 Охорона праці

4.1.1 Розробка заходів щодо зменшення впливу небезпечних і шкідливих виробничих факторів при роботі з газовим двигуном 6ГЧН25/34.

Охорона праці – це система законів і норм, спрямованих на забезпечення безпеки праці і відповідних їм соціально-економічних, організаційних, технічних і санітарно-гігієнічних заходів.

Задачі охорони праці – звести до мінімуму можливі поранення і захворювання працюючих, з одночасним забезпеченням комфорту при максимальній продуктивності праці. Реальні виробничі умови характеризуються, як правило, наявністю деяких небезпечних і шкідливих виробничих факторів. Небезпечним виробничим фактором називається такий виробничий фактор, вплив якого на працюючого у визначених умовах приведе до захворювання чи зниження працездатності. Між небезпечним і шкідливим факторами не завжди можна провести чітку границю. Той самий фактор може привести до нещасного випадку чи до зниження продуктивності праці.

4.1.2 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів, що впливають на персонал, який обслуговує двигун.

При роботі ДВЗ, а також різних систем і механізмів, що обслуговують двигун, виникає ряд виробничих факторів небезпечних для життя і здоров'я людей. Ці фактори регламентовані ДСТ 12.0.003-83.

а) Випускний газ та пари мастила. Випускні гази та пари мастила проникають в організм людини, подразнююче діють і

|    |       |          |        |      |                        |       |
|----|-------|----------|--------|------|------------------------|-------|
|    |       |          |        |      | ПФ НУК 131.61.21.05 ПЗ | Аркуш |
|    |       |          |        |      |                        |       |
| Зм | Аркуш | № докум. | Підпис | Дата |                        |       |

можуть призвести до виникнення хронічних захворювань легень і дихальних шляхів.

За ДСТ 12.1.005-76 установлені припустимі границі концентрації газу –  $100 \text{ мг/м}^3$  – у повітрі виробничих приміщень.

При роботі двигуна також виділяється велика кількість шкідливих речовин у результаті згоряння палива та мастила.

По СНіПу 245 – 71 величина припустимої границі концентрації оксиду вуглецю не повинна перевищувати  $20 \text{ мг/м}^3$ .

Висока температура відкритих частин двигуна (випускний колектор, газова турбіна, глушник) здатна заподіяти людині шкоду, що виражається в опіках. Для того щоб запобігти цього треба всі гарячі частини двигуна покривати теплоізоляційними матеріалами.

б) Пожежна безпека. Причиною пожеж у машинному відділенні є: несправні електроприлади, самозаймання промасленого дрانتя, несправність запірної арматури, знос і корозія елементів паливної апаратури, застосування відкритого вогню, недотримання норм пожежної безпеки при роботі з легко займистими речовинами.

в) Електробезпечність, проходячи через тіло, струм впливає:

- 1) термічно, виражається в опіках, нагріванні кровоносних судин, нервів і інших тканин, гіперскороченням м'язових тканин.
- 2) електрично, виражається в зміні фізико-хімічного складу крові й інших рідин.

3) біологічно, виражається в подразненні і руйнуванні тканин організму, а також у порушенні внутрішніх процесів.

г) освітлення, велику роль у виробничому процесі відіграє система освітлення, яка призначена для забезпечення освітлення приміщення електростанції.

д) Вентиляція. У результаті порушення герметичності з'єднань деталей двигуна в приміщенні електростанції може з'являтися небезпечна

|    |       |          |        |      |                        |       |
|----|-------|----------|--------|------|------------------------|-------|
|    |       |          |        |      | ПФ НУК 131.61.21.05 ПЗ | Аркуш |
|    |       |          |        |      |                        |       |
| Зм | Аркуш | № докум. | Підпис | Дата |                        |       |

концентрація палива, що може привести до отруєння персоналу або вибуху. Щоб запобігти цьому, необхідна система вентиляції.

Система вентиляції призначена для створення нормальних метеорологічних умов повітряного середовища в приміщенні машинного відділення електростанції.

Для ефективної роботи систем вентиляції важливо щоб були виконані наступні технічні і санітарно –гігієнічні вимоги:

- кількість приточного повітря повинне відповідати кількості вилученого, різниця між ними повинна бути мінімальною;

- система вентиляції не повинна створювати шум на робочих місцях, що перевищує допустимі норми;

- система вентиляції повинна бути електробезпечна, пожежобезпечна і вибухобезпечна, проста у виготовленні, надійна в експлуатації й ефективна.

є). Шум значно погіршує продуктивність праці. При інтенсивному рівні шуму тривалий час спостерігається утом слухового апарату, що може привести до часткової чи навіть до повної втрати слуху. Санітарні норми шуму приведені в таблиці 4.1

Таблиця 4.1 Санітарні норми шуму

|                                                 |      |    |     |     |     |      |      |
|-------------------------------------------------|------|----|-----|-----|-----|------|------|
| Середньгеометричні частоти октавних стрічок, Гц | 3,15 | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 |
| Рівні звукового тиску, Дб                       | 109  | 99 | 92  | 86  | 83  | 80   | 76   |

ж) Вібрація. Вібрація виникає через динамічну невідновженість мас кривошипно-шатунного механізму ДВЗ. Локальна вібрація викликає спазми судин і погіршує кровообіг.

|    |       |          |        |      |                        |  |       |
|----|-------|----------|--------|------|------------------------|--|-------|
|    |       |          |        |      | ПФ НУК 131.61.21.05 ПЗ |  | Аркуш |
| Зм | Аркуш | № докум. | Підпис | Дата |                        |  |       |

Загальна вібрація з частотою 0,7 Гц викликає морську хворобу, з частотою 4-30 Гц може викликати ушкодження плечового пояса, більшості внутрішніх органів через резонансні явища. Санітарні норми вібрації приведені в таблиці 4.2.

Таблиця.4.2. Санітарні норми вібрації

| Напрямок нормування вібрації | Середньоквадратична віброшвидкість (чисельник, м/с·10 <sup>-2</sup> ), логарифмічний рівень віброшвидкості (знаменник, дБ) |         |         |          |          |          |          |
|------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|---------|----------|----------|----------|----------|
|                              | 1                                                                                                                          | 2       | 4       | 8        | 15       | 31,5     | 63       |
| вертикаль                    | 20/132                                                                                                                     | 7,1/123 | 2,5/114 | 1,3/108  | 1,1/107  | 1,1/107  | 1,1/107  |
| горизонталь                  | -                                                                                                                          | 3,5/117 | 1,3/108 | 0,63/102 | 0,56/101 | 0,56/101 | 0,56/101 |

Розрахунок рівня шуму і вібрації в приміщенні машинного відділення.

Рівень шуму створюваний газовим двигуном 6ГЧН25/34 визначається по формулі:

$$L = \left[ 54 + 10 \cdot \lg(n_n + Pe^{0.55}) + 30 \lg\left(\frac{n}{n_n}\right) \right], \text{дБ}$$

де  $n_n = 750$  об/хв – номінальна частота обертання,

$n = 750$  об/хв – робоча частота обертання,

$P_e = 600$  кВт – номінальна потужність двигуна.

$$L = \left[ 54 + 10 \cdot \lg(750 + 600^{0.55}) + 30 \lg\left(\frac{750}{750}\right) \right] = 87,5 \text{дБ}$$

Рівень шуму перевищує допустимі значення. Необхідно проводити заходу щодо зниження рівня шуму. Для зниження аеродинамічного шуму, створеного двигуном, використовуються глушники різних типів і конструкцій. Використання глушників дозволяє знизити загальний рівень шуму на 10-12 дБ. Для зниження повітряного шуму, випромінюваного

|    |       |          |        |      |                        |  |       |
|----|-------|----------|--------|------|------------------------|--|-------|
|    |       |          |        |      | ПФ НУК 131.61.21.05 ПЗ |  | Аркуш |
| Зм | Аркуш | № докум. | Підпис | Дата |                        |  |       |

Загальна вібрація з частотою 0,7 Гц викликає морську хворобу, з частотою 4-30 Гц може викликати ушкодження плечового пояса, більшості внутрішніх органів через резонансні явища. Санітарні норми вібрації приведені в таблиці 4.2.

Таблиця.4.2. Санітарні норми вібрації

| Напрямок нормування вібрації | Середньоквадратична віброшвидкість (чисельник, м/с·10 <sup>-2</sup> ), логарифмічний рівень віброшвидкості (знаменник, дБ) |         |         |          |          |          |          |
|------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|---------|----------|----------|----------|----------|
|                              | 1                                                                                                                          | 2       | 4       | 8        | 15       | 31,5     | 63       |
| вертикаль                    | 20/132                                                                                                                     | 7,1/123 | 2,5/114 | 1,3/108  | 1,1/107  | 1,1/107  | 1,1/107  |
| горизонталь                  | -                                                                                                                          | 3,5/117 | 1,3/108 | 0,63/102 | 0,56/101 | 0,56/101 | 0,56/101 |

Розрахунок рівня шуму і вібрації в приміщенні машинного відділення.

Рівень шуму створюваний газовим двигуном 6ГЧН25/34 визначається по формулі:

$$L = \left[ 54 + 10 \cdot \lg(n_n + P e^{0.55}) + 30 \lg\left(\frac{n}{n_n}\right) \right], \text{дБ}$$

де  $n_n = 750$  об/хв – номінальна частота обертання,

$n = 750$  об/хв – робоча частота обертання,

$P_e = 600$  кВт – номінальна потужність двигуна.

$$L = \left[ 54 + 10 \cdot \lg(750 + 600^{0.55}) + 30 \lg\left(\frac{750}{750}\right) \right] = 87,5 \text{дБ}$$

Рівень шуму перевищує допустимі значення. Необхідно проводити заходу щодо зниження рівня шуму. Для зниження аеродинамічного шуму, створеного двигуном, використовуються глушники різних типів і конструкцій. Використання глушників дозволяє знизити загальний рівень шуму на 10-12 дБ. Для зниження повітряного шуму, випромінюваного

|    |       |          |        |      |                        |  |       |
|----|-------|----------|--------|------|------------------------|--|-------|
|    |       |          |        |      | ПФ НУК 131.61.21.05 ПЗ |  | Аркуш |
| Зм | Аркуш | № докум. | Підпис | Дата |                        |  |       |

зовнішніми поверхнями двигуна, використовуються звукоізолюючі чи кожухи бокси, що дозволяють знизити загальний рівень шуму на 10-15 Дб, а додатково на 20 Дб і вище.

Для зниження механічного шуму необхідно зменшити зазори між деталями і вузлами, виготовляти конструкції деталей з матеріалів з великим внутрішнім тертям і шумопоглинальними покриттями.

Рівень вібрації для двигуна 6ГЧН25/34 визначається по формулі:

$$L = 44 + 10 \lg \left( \frac{n_n \cdot Pe^{0,55} \cdot \left( \frac{1+Pe}{m} \right)}{1 + \left( \frac{1}{1500} \right)^3 \cdot \frac{m}{Pe}} + 30 \lg \left( \frac{n}{n_n} \right) \right), \text{дБ}$$

де  $m = 10500 \text{ кг}$ - маса двигуна

$$L = 44 + 10 \lg \left( \frac{750 \cdot 600^{0,55} \cdot \left( \frac{1+600}{10500} \right)}{1 + \left( \frac{1}{1500} \right)^3 \cdot \frac{10500}{600}} + 30 \lg \left( \frac{750}{750} \right) \right) = 87,9 \text{ дБ}$$

Для зменшення рівня вібрації в конструкції двигуна передбачено: добір поршнів і шатунів по вагових групах, маховик, противаги й інші.

#### 4.1.3 Заходи щодо зниження шуму і вібрації.

Шум і вібрація, двигунів внутрішнього згоряння впливають на здоров'я працюючих у машинному відділенні, зменшує продуктивність праці, притупляється увага.

Двигуни внутрішнього згоряння відносяться до найбільш гучних механізмів, у більшості випадків є основними джерелами шуму і вібрації. Проблемою шуму ДВЗ є усунення чи максимальне зменшення шкідливого впливу повітряного шуму двигуна. Найбільш ефективним і, у той же час, найбільш складним є метод боротьби із шумом самого двигуна. Суть

|    |       |          |        |      |                        |       |
|----|-------|----------|--------|------|------------------------|-------|
|    |       |          |        |      | ПФ НУК 131.61.21.05 ПЗ | Аркуш |
|    |       |          |        |      |                        |       |
| Зм | Аркуш | № докум. | Підпис | Дата |                        |       |



методу - у спеціальній організації робочого місця і конструктивному оформленні двигуна і його вузлів, у поліпшені технології виготовлення й обробки деталей двигуна (підвищена точність нарізування зубів шестірні, загальне доведення і притирання деталей, вибір мало гучних підшипників).

Одним з найбільш розповсюджених методів є ізоляція звуку і вібрації. Ізоляцію повітряного шуму виконують за допомогою звукоізолюючих кожухів і перегородок, а також за допомогою звукоізоляції машинного приміщення.

Ефективним способом зменшення шуму і вібрації є установлення віброгасників у місцях підвищеної вібрації.

Дуже ефективним і важливим способом зменшення шкідливого впливу шуму на людський організм є використання індивідуальних способів захисту від шуму: пробок, навушників і касок у сукупності з звукоізолюючими кабінами, з яких провадиться управління двигуном. Способи індивідуального захисту, в залежності від їхньої конструкції і частоти шуму, дозволяють зменшити сприйнятий людиною звук на 15-20 Дб.

#### 4.2 Охорона навколишнього середовища.

Однією з необхідних умов здорової і високопродуктивної праці є забезпечення чистоти повітря і нормальних метеорологічних умов у робочій зоні приміщень. Усунення впливу таких шкідливих виробничих факторів, як відпрацьовані гази, пар, пил, надлишкові теплоти, волога і створення здорового повітряного середовища, є важливою народногосподарською задачею, що повинна здійснюватися комплексно, одночасно з рішенням основних питань виробництва.

Шкідливі речовини проникають в організм людини головним чином крізь дихальні шляхи, а також крізь шкіру з їжею. Більшість цих речовин відносяться до небезпечних і шкідливих виробничих факторів, оскільки

|    |       |          |        |      |                        |       |
|----|-------|----------|--------|------|------------------------|-------|
|    |       |          |        |      | ПФ НУК 131.61.21.05 ПЗ | Аркуш |
|    |       |          |        |      |                        |       |
| Зм | Аркуш | № докум. | Підпис | Дата |                        |       |

вони впливають на організм людини.

По характеру впливу на організм людини ці шкідливі речовини розділяються на:

- а) загально токсичні речовини, які викликають отруєння всього організму (окис вуглецю, ціаністі з'єднання, свинець, ртуть);
- б) речовини які викликають подразнення дихальних шляхів і слизоватих оболонок (хлор, аміак);
- в) речовини, що діють як алерген (формальдегід, різні розчини та інш);
- г) канцерогенні речовини, які викликають ракові захворювання (амін, окисли хрому, азбест).

4.2.1 Забруднення навколишнього середовища, що виникають при експлуатації двигуна.

В процесі експлуатації газовий двигун є джерелом теплового, шумового, вібраційного та радіаційного забруднень біосфери.

Внаслідок недосконалості процесів згоряння палива, конструкції механізмів, порушень правил технічного обслуговування, а іноді в результаті аварії сильно забруднюється біосфера. Це призводить до зміни санітарно-гігієнічних умов життєдіяльності людини, що сприяє розвитку різних захворювань і впливає на флору і фауну.

Токсичність випускних газів визначається сортом палива та умовами його згоряння. Так застосування більш дешевих важких сірчаних палив викликає підвищене забруднення навколишнього середовища, збільшує зношування. При виборі сорту палива вирішальне значення можуть мати перераховані фактори, а не його дешевизна.

У випускних газах знаходиться близько 200 компонентів, які можна розділити на п'ять груп:

- а) продукти повного згоряння палива, що сприяють утворенню

|    |       |          |        |      |                        |       |
|----|-------|----------|--------|------|------------------------|-------|
|    |       |          |        |      | ПФ НУК 131.61.21.05 ПЗ | Аркуш |
|    |       |          |        |      |                        |       |
| Зм | Аркуш | № докум. | Підпис | Дата |                        |       |

парникового ефекту та кислотних дощів;

б) окисли вуглецю;

в) окисли азоту - беруть участь в утворенні фотохімічних реакцій;

г) канцерогенні домішки;

д) альдегіди.

Випускні гази сприяють задимленню атмосфери. Димність, крім забруднення біосфери, також погіршує видимість і зменшує сонячну радіацію на поверхні землі в результаті поглинання і розсіювання світла зваженими частками.

При роботі газового двигуна значна частина теплової енергії передається атмосфері чи гідросфері.

Разом з охолоджуючою водою, що відходить від двигуна, у землю може потрапити мастило, паливо. Це може відбуватися крізь нещільність з'єднань систем, сальники арматури і насосів, а також крізь трубопроводи при їхньому зношенні.

Транспортування і збереження нафтопродуктів супроводжується випарюванням летучих вуглеводневих з'єднань в атмосферу. Величина забруднення від випарів нафти складає майже в два рази більше, ніж забруднення від автомобільного транспорту.

У зв'язку з цим у наш час розробляють двигуни, що можуть працювати на альтернативних видах палива, що дає менше забруднення навколишнього середовища.

4.2.2 Розробка заходів щодо зменшення забруднення навколишнього середовища.

Необхідний безпечний стан навколишнього середовища може бути забезпечений виконанням визначених заходів. До основних з них відносяться:

а) Механізація і автоматизація виробничих процесів, дистанційне керування ними. Ці заходи мають велике значення для захисту від впливу

|    |       |          |        |      |                        |       |
|----|-------|----------|--------|------|------------------------|-------|
|    |       |          |        |      | ПФ НУК 131.61.21.05 ПЗ | Аркуш |
|    |       |          |        |      |                        |       |
| Зм | Аркуш | № докум. | Підпис | Дата |                        |       |

шкідливих речовин, теплового випромінювання, особливо при виконанні важких робіт.

Автоматизація процесів, що супроводжуються виділенням шкідливих речовин, не тільки підвищує продуктивність, але і поліпшує умови праці, оскільки робітники виводяться з небезпечної зони.

б) Застосування технологічних процесів і устаткування, що виключають утворення шкідливих речовин чи попадання їх у робочу зону. При проектуванні нових технологічних процесів і устаткування необхідно домагатися виключення чи різкого зменшення виділення шкідливих речовин у повітря виробничих приміщень.

в) Захист від джерел теплових випромінювань.

Це важливо для зниження температури повітря в приміщенні і теплового опромінення працівників.

г) Встановлення вентиляції та опалення.

д) Застосування засобів індивідуального захисту.

|    |       |          |        |      |                        |       |
|----|-------|----------|--------|------|------------------------|-------|
|    |       |          |        |      | ПФ НУК 131.61.21.05 ПЗ | Аркуш |
|    |       |          |        |      |                        |       |
| Зм | Аркуш | № докум. | Підпис | Дата |                        |       |

## 5 ТЕХНІКО - ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ЗАСТОСУВАННЯ КОЛІНЧАСТОГО ВАЛУ ПОЛІПШЕНОЇ КОНСТРУКЦІЇ

Техніко - економічне обґрунтування запропонованої в магістерській роботі конструкції колінчастого валу з противагами на його щоках для двигуна 6ГЧН25/34 з частотою обертання колінчастого валу  $n = 750 \text{ хв}^{-1}$  має на меті встановлення доцільності його розробки і втілення у виробництво.

Критерієм ефективності зміни конструкції колінчастого валу є відношення суми затрат на його розробку, виготовлення і впровадження у виробництво до величини отриманого річного економічного ефекту від її реалізації.

У відповідності з основними показниками ефективності нової техніки або технології головним є економічний ефект, що представляє собою загальну економію всіх виробничих ресурсів отриманих підприємством в результаті запровадження нової техніки.

В магістерській роботі розроблена конструкція колінчастого валу з противагами, яка суттєво покращує роботу рамових підшипників, зменшує величини неврівноважених сил інерції деталей КШМ та моментів від них. Завдяки цьому запроектований газовий двигун має кращі ресурсні показники, що зменшує питому витрату палива і затрати на його обслуговування в експлуатації. Крім того, зменшується вібрація двигуна та шум, створюваний ним під час роботи.

Економічний ефект отримується за рахунок зменшення витрат на ремонт двигуна, що обладнаний запроектованим колінчастим валом і на газове паливо при його експлуатації.

Витрати на розробку нового колінчастого валу і його

|    |       |          |        |      |                        |       |
|----|-------|----------|--------|------|------------------------|-------|
|    |       |          |        |      | ПФ НУК 131.61.21.05 ПЗ | Аркуш |
|    |       |          |        |      |                        |       |
| Зм | Аркуш | № докум. | Підпис | Дата |                        |       |

впровадження у виробництво склали 1500000 грн із яких 100000грн витрачено на розробку технічної документації, 600000грн на випробування двигуна з новим колінчастим валом, 800000 грн на підготовку виробництва.

Ціна газового двигуна із запроектованим колінчастим валом поліпшеної конструкції в порівнянні із серійним газовим двигуном 6ГЧН25/34 збільшилась на 500000 грн.

Вихідні дані для розрахунку економічного ефекту приведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 Техніко – економічні показники базового і запроектованого двигуна 6ГЧН25/34

| Найменування показників                                              | Позначення          | Величина |                |
|----------------------------------------------------------------------|---------------------|----------|----------------|
|                                                                      |                     | базовий  | запроектований |
| 1                                                                    | 2                   | 3        | 4              |
| 1. Ефективна потужність двигуна, кВт                                 | $P_e$               | 525      | 600            |
| 2. Питома витрата палива, $\text{м}^3/(\text{кВт} \cdot \text{год})$ | $g_e$               | 0,30     | 0,28           |
| 3. Питома витрата масла, $\text{кг}/(\text{кВт} \cdot \text{год})$   | $g_m$               | 0,0014   | 0,0010         |
| 4 Частота обертання колінчатого валу, об/хв.                         | $n$                 | 600      | 750            |
| 6. Ціна двигуна, грн.                                                | $\text{Ц}$          | 5200000  | 5700000        |
| 7. Оптова ціна газового палива, $\text{грн}/\text{м}^3$              | $\text{Ц}_\text{п}$ | 26       | 26             |
| 8. Оптова ціна масла М10Г <sub>2</sub> ЦС, $\text{грн}/\text{кг}$    | $\text{Ц}_\text{м}$ | 65       | 65             |
| 9. Тривалість роботи двигуна в рік, год                              | $t$                 | 6000     | 6000           |
| 10. Коефіцієнт частини вартості переборки двигуна в його ціні        | $B_\text{пер}$      | 0,05     | 0,05           |
| 11. Коефіцієнт частки вартості капітального ремонту в ціні двигуна   | $B_\text{кр}$       | 0,30     | 0,30           |
| 12. Коефіцієнт використання потужності двигуна                       | $K_\text{п}$        | 0,9      | 0,9            |

|    |       |          |        |      |                        |       |
|----|-------|----------|--------|------|------------------------|-------|
|    |       |          |        |      | ПФ НУК 131.61.21.05 ПЗ | Аркуш |
|    |       |          |        |      |                        |       |
| Зм | Аркуш | № докум. | Підпис | Дата |                        |       |

|                                                                       |                  |       |         |
|-----------------------------------------------------------------------|------------------|-------|---------|
| 13. Ресурс двигуна до першої переборки, год                           | $t_{\text{пер}}$ | 8000  | 10000   |
| 14. Ресурс двигуна до капітального ремонту, год                       | $t_{\text{кр}}$  | 60000 | 70000   |
| 15. Нормативний коефіцієнт порівняльної економічної ефективності      | $E_m$            | 0,15  | 0,15    |
| 16. Затрати на розробку і впровадження нового колінчастого валу, грн. | $C_{\text{зат}}$ | -     | 1500000 |

Розрахунок річного економічного ефекту від застосування колінчастого валу поліпшеної конструкції для двигуна 6ГЧН25/34.

Річний економічний ефект від впровадження нового устаткування довготривалого використання знаходиться по формулі

$$E = \left[ C_{n\delta} \times a_1 \times a_2 - C_{nn} + \frac{I_{\delta} \times a_1 - I_n + E_n \times (K_{сб} \times a_1 - K_{сн})}{1 + E_H} \right], \text{грн/рік} \quad [ ]$$

(5.1)

Розрахунок складових витрат

- Річний об'єм роботи, виконуваний двигуном при використанні його по призначенню

$$B = K_{\text{п}} \cdot P_e \cdot t, \text{кВт} \cdot \text{год/рік} \quad (5.2)$$

$$B_{\delta} = 0,9 \cdot 525 \cdot 6000 = 2,835 \cdot 10^6 \text{ кВт/рік}$$

$$B_n = 0,9 \cdot 600 \cdot 6000 = 3,24 \cdot 10^6 \text{ кВт/рік}$$

Коефіцієнт зміни продуктивності нового двигуна в порівнянні з базовим

$$a_1 = B_n / B_{\delta} = 3,24 \cdot 10^6 / 2,835 \cdot 10^6 = 1,143 \quad (5.3)$$

- Термін служби двигуна до капітального ремонту

$$T = T_{\text{кр}} / t, \text{років} \quad (5.4)$$

$$T_{\delta} = 60000 / 6000 = 10 \text{ років}$$

|    |       |          |        |      |                        |       |
|----|-------|----------|--------|------|------------------------|-------|
|    |       |          |        |      | ПФ НУК 131.61.21.05 ПЗ | Аркуш |
|    |       |          |        |      |                        |       |
| Зм | Аркуш | № докум. | Підпис | Дата |                        |       |

$$T_H = 70000/6000 = 11,5 \text{ років}$$

$P_H = 1/T_H = 1/11,5 = 0,087$  – доля відрахувань від балансового прибутку на повну реновацію двигуна. (5.5)

$$P_6 = 1/T_6 = 1/10 = 0,10$$

Коефіцієнт, що враховує зміну терміну служби нового двигуна в порівнянні з базовим

$$a_2 = \frac{P_6 + E_H}{P_H + E_H} = \frac{0,1 + 0,15}{0,087 + 0,15} = 1,054$$

де  $E_H = 0,15$  – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень

### 3. Поточні затрати на газове паливо

$$Z_{\Pi} = K_{\Pi} \cdot g_e \cdot N_e \cdot t \cdot \Pi_{\Pi}, \text{ грн/рік} \quad (5.7)$$

$$Z_{\Pi 6} = 0,9 \cdot 0,30 \cdot 525 \cdot 6000 \cdot 26 = 22113000 \text{ грн/рік.}$$

$$Z_{\Pi H} = 0,9 \cdot 0,28 \cdot 600 \cdot 6000 \cdot 26 = 23587200 \text{ грн/рік.}$$

### 4. Поточні затрати на мастило

$$Z_M = g_M \cdot \Pi_M \cdot B, \text{ грн/рік} \quad (5.8)$$

$$Z_{M 6} = 0,0014 \cdot 65 \cdot 2,835 \cdot 10^6 = 2579900 \text{ грн/рік.}$$

$$Z_{M H} = 0,0010 \cdot 65 \cdot 3,24 \cdot 10^6 = 210600 \text{ грн/рік.}$$

### 5. Затрати на поточний ремонт двигуна

$$Z_{\Pi p} = b_{\Pi p} \cdot t \cdot \Pi / t_{\Pi p}, \text{ грн/рік} \quad (5.9)$$

$$Z_{\Pi p 6} = 0,03 \cdot 6000 \cdot 5200000/8000 = 117000 \text{ грн/рік.}$$

$$Z_{\Pi p H} = 0,03 \cdot 6000 \cdot 5700000/10000 = 102600 \text{ грн/рік.}$$

### 6. Затрати на капітальний ремонт двигуна

$$Z_{Kp} = b_{Kp} \cdot t \cdot \Pi / t_{Kp}, \text{ грн/рік.} \quad (5.10)$$

$$Z_{Kp 6} = 0,30 \cdot 6000 \cdot 5200000/60000 = 156000 \text{ грн/рік.}$$

$$Z_{Kp H} = 0,30 \cdot 6000 \cdot 5700000/70000 = 146570 \text{ грн/рік.}$$

### 7. Річна зарплата обслуговуючого персоналу

$$Z_{оп} = C_T \cdot t \cdot q_{зп} = 85 \cdot 6000 \cdot 0,43 = 219300 \text{ грн/рік, де} \quad (5.11)$$

$C_T = 85 \text{ грн/год}$  – годинна ставка оператора з врахуванням доплат і відрахувань на соціальні потреби;

|    |       |          |        |      |                        |       |
|----|-------|----------|--------|------|------------------------|-------|
|    |       |          |        |      | ПФ НУК 131.61.21.05 ПЗ | Аркуш |
|    |       |          |        |      |                        |       |
| Зм | Аркуш | № докум. | Підпис | Дата |                        |       |



$q_{зп} = 0,43$  – частка зарплати обслуговуючого персоналу, що приходить на обслуговування двигуна.

8. Експлуатаційні витрати споживача за рік

$$И = З_{п} + З_{м} + З_{пр} + З_{кр} + З_{оп}, \text{ грн/рік.} \quad (5.12)$$

$$И_{б} = 22113000 + 257985 + 117000 + 156000 + 219300 = 22863285 \text{ грн/рік.}$$

$$И_{н} = 23587200 + 210600 + 102600 + 146570 + 219300 = 24266271 \text{ грн/рік.}$$

9. Річний економічний ефект від створення і експлуатації газового двигуна 6ГЧН25/34 із колінчастим валом поліпшеної конструкції

$$E = 5200000 \times 1,143 \times 1,054 - 5700000 + \frac{22863285 \times 1,0 - 2426671 + 0,15 \times (0,3 \times 5200000 \times 1,143 - 0,3 \times 5700000)}{1 + 0,15} = 503100 \text{ грн/рік}$$

10. Термін окупності затрат на розробку і впровадження у виробництво шатуна нової конструкції.

$$T_{ок} = Ц_{зат} / E = 1500000 / 503100 = 2,98 \text{ року, що не перевищує рекомендованих термінів окупності устаткування довготривалого користування } T_{ок} = 3 \dots 8 \text{ років.}$$

|    |       |          |        |      |                        |       |
|----|-------|----------|--------|------|------------------------|-------|
|    |       |          |        |      | ПФ НУК 131.61.21.05 ПЗ | Аркуш |
|    |       |          |        |      |                        |       |
| Зм | Аркуш | № докум. | Підпис | Дата |                        |       |

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО МАГІСТЕРСЬКІЙ РОБОТІ

Розроблена згідно із завданням магістерська робота на тему "Підвищення техніко-економічних показників стаціонарного газового двигуна потужністю 600 кВт за рахунок вдосконалення конструкції колінчастого валу. Прототип 6ГЧН25/34" містить в собі необхідні конструкторські креслення, розрахункові і пояснювальні матеріали по газовому двигуну 6ГЧН 25/34 і детальну розробку конструкції колінчастого валу з противагами встановленими на його щоках. Магістерська робота оформлена у вигляді пояснювальної записки та конструкторської частини проекту загальною кількістю 7 листів формату А1.

Газовий двигун 6ГЧН 25/34 потужністю 600 кВт використовується для приводу електрогенератора змінного струму і встановлюється в місцях де потрібні постійно електрична та теплова енергія, План розміщення в машинній залі устаткування, яке необхідне для забезпечення роботи газового двигун – генератора ДвГА-570, показаний на листі Додатку А графічної частини роботи, а в пояснювальній записці виконаний детальний опис обладнання з наведенням їх параметрів. Детальна конструкція газового двигуна 6ГЧН 25/34 показані на листах Додатків Б і В графічної частини роботи.

У другому розділі магістерської роботи по заданим вихідним параметрам двигуна ( $P = 600 \text{ кВт}$ ,  $n = 750 \text{ хв}^{-1}$ ) визначений двигун – прототип 6ГЧН25/34 і виконані розрахунки параметрів робочого циклу. Результати розрахунків показали, що задана потужність газового двигуна забезпечується при тиску наддуву  $P_k = 0,20 \text{ МПа}$ , ступеню стиску  $\epsilon = 10,5$ , коефіцієнті надлишку повітря  $\alpha = 1,68$ .

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

|    |       |          |        |      |                        |       |
|----|-------|----------|--------|------|------------------------|-------|
|    |       |          |        |      | ПФ НУК 131.61.21.05 ПЗ | Аркуш |
|    |       |          |        |      |                        |       |
| Зм | Аркуш | № докум. | Підпис | Дата |                        |       |

Важливе місце в магістерській роботі займає розробка конструкції колінчастого валу із противагами на його щоках. В пояснювальній записці приведений детальний опис запроектованого колінчастого валу та виконаний розрахунок навантажень на опори колінчастого валу, як з противагами на щоках, так і без них. Розрахункова схема коліна з противагами показана на листі Додатку Е графічної частини роботи. Також в графічній частині розроблене складальне креслення колінчастого валу та робоче креслення противаги (Додатки Г,Д).

Враховуючи те, що запроектований газовий двигун 6ГЧН 25/34 є джерелом шуму і вібрації, велику увагу в магістерській роботі приділено розробці заходів по зменшенню негативного впливу його роботи на 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 компресор ТК,

Економічний ефект від застосування газового двигуна 6ГЧН 25/34 з колінчастим валом поліпшеної конструкції одержано за рахунок зменшення витрат на газове паливо і підвищення його ресурсних показників.

В розрахунку економічного ефекту враховані витрати на розробку, виготовлення, випробування і підготовку виробництва газового двигуна із колінчастим валом покращеної конструкції.

Прийняті технічні рішення по вдосконаленню конструкції колінчастого валу запроектованого двигуна дають розрахунковий річний економічний ефект в сумі 503100 грн/рік.

Розрахунковий термін окупності затрат на розробку і застосування двигуна із новим колінчастим валом складає 3 роки.

|    |       |          |        |      |                        |       |
|----|-------|----------|--------|------|------------------------|-------|
|    |       |          |        |      | ПФ НУК 131.61.21.05 ПЗ | Аркуш |
|    |       |          |        |      |                        |       |
| Зм | Аркуш | № докум. | Підпис | Дата |                        |       |

## ЛІТЕРАТУРА

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
11. Кинжалов О.С., Литвин С.Н., Горбань А.И. Показатели качества и экономическое обоснование принятых технических решений при проектировании двигателей внутреннего сгорания. Учебное пособие для студентов специальности 090210 «Двигатели внутреннего сгорания» Николаев, 2006.

|    |       |          |        |      |                        |       |
|----|-------|----------|--------|------|------------------------|-------|
|    |       |          |        |      | ПФ НУК 131.61.21.05 ПЗ | Аркуш |
|    |       |          |        |      |                        |       |
| Зм | Аркуш | № докум. | Підпис | Дата |                        |       |