

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

Кафедра «Енергетичне машинобудування»

«Допущений до захисту»  
Завідувач кафедри

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 р.

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

**на тему:** Використання газового палива для оптимізації технічних характеристик  
двигуна потужністю 45 кВт.

Прототип – 4Ч7,6/8

Виконав: студент групи 41-ЕМ-21з

Коцюбенко О.О.

Керівник роботи:

викладач  
(посада, науковий ступень, вчене звання)

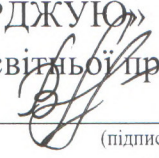
Дубовець А.І.  
(підпис)

Первомайськ - 2025 р.

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

**Факультет – Інженерно-економічний**

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

«ЗАТВЕРДЖУЮ»  
Гарант освітньої програми  
  
\_\_\_\_\_  
(підпис)  
«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 р.

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

Студенту Коцюбенку Олексію Олександровичу

1. Тема роботи: Використання газового палива для оптимізації технічних характеристик двигуна потужністю 45 кВт.

Прототип – 4Ч7,6/8

Затверджено розпорядженням ПННІ НУК від 10.02.2025 року № 24.

2. Термін подання студентом роботи до розгляду на кафедрі 12.05.2025 року.

3. Вихідні дані по роботі: Двигун-прототип 4Ч7,6/8, номінальною потужністю 45 кВт.

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

Вступ.

Розділ 1. Опис конструкції базового двигуна 4Ч7,6/8.

Розділ 2. Розрахунок робочого процесу та динаміки двигуна.

Розділ 3. Науковий розділ.

Розділ 4. Розробка заходів з охорони праці та захисту навколишнього середовища.

Висновки.

5. Перелік презентаційних матеріалів.

1. Двигун 4ЧН7,6/8 (СК). 2. Заслінка (СК), 4. Двигун-насос (СК), 4. Індикаторна діаграма та діаграми сил, що діють в КШМ, ІД, Схема подачі газу інжекторного типу (СХ)

# Консультанти розділів роботи

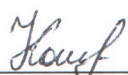
| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата   |                  |
|--------|-------------------------------------------|----------------|------------------|
|        |                                           | завдання видав | завдання прийняв |
| 1      |                 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

Дата видачі завдання «10» лютого 2025 року

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

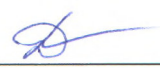
| Номер | Назва етапів роботи                          | Терміни виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|----------------------------------------------|---------------------------------|----------|
| 1     | Вступ.                                       | 24.02.2025                      |          |
| 2     | Загальний розділ.                            | 10.03.2025                      |          |
| 3     | Конструкторський розділ.                     | 31.03.2025                      |          |
| 4     | Науковий розділ.                             | 07.04.2025                      |          |
| 5     | Охорона праці та навколишнього середовища.   | 14.04.2025                      |          |
| 6     | Загальні висновки по кваліфікаційній роботі. | 28.04.2025                      |          |
| 7     | Оформлення кваліфікаційної роботи            | 12.05.2025                      |          |

Студент

  
(підпис)

**Коцюбенко О.О.**

Керівник роботи

  
(підпис)

**Дубовець А.І.**

## Анотація

Пояснювальна записка до бакалаврської роботи на тему «Разрубка інжекторної газоподачі для чотиритактного двигуна потужністю 45 кВт» включає вступ, чотири основні розділи та п'ять додатків, серед яких — дві специфікації та п'ять креслярських листів. У текстовій частині представлено опис конструкції двигуна-прототипу 4Ч7,6/8, водонасосної станції, а також виконано розрахунки робочого процесу проектного двигуна з визначенням його ключових параметрів.

Здійснено аналіз теплового балансу, побудовано теоретичну та реальну індикаторні діаграми. Для створення діаграм сил, що діють на кривошипно-шатунний механізм (КШМ), проведено динамічний розрахунок двигуна. Надано детальний опис інжекторної системи подачі газу, а також виконано розрахунки окремих її елементів, зокрема заслінки та впускного колектора. Крім того, у роботі розглянуто заходи з охорони праці та захисту навколишнього середовища. У кінці подано узагальнені висновки щодо виконаної роботи. Додатки до пояснювальної записки містять креслення двигуна 4Ч7,6/8 (поперечний переріз), креслення складальне заслінки, а також діаграми сил, що діють на деталі КШМ, креслення двигун-насос та схеми подачі газу інжекторного типу.

Ключові слова: газовий двигун, робочий цикл, впускний колектор, КШМ, індикаторна діаграма, динамічний розрахунок.

## Abstract

Explanatory note to the bachelor's thesis on the topic "Cutting the injection gas supply for a four-stroke engine with a capacity of 45 kW" includes an introduction, four main sections and five appendices, including two specifications and five drawing sheets.

The text part presents a description of the design of the prototype engine 4Ч7,6/8, a water pumping station, and also performs calculations of the working process of the designed engine with the determination of its key parameters. A heat balance analysis was performed, theoretical and real indicator diagrams were constructed. To create force diagrams acting on the crank mechanism (CKM), a dynamic calculation of the engine was performed. A detailed description of the injection gas supply system is

provided, and calculations of its individual elements, in particular the damper and the intake manifold, are also performed. In addition, the work considers measures for labor protection and environmental protection. At the end, generalized conclusions are presented on the work performed.

The annexes to the explanatory note contain drawings of the 4Ch7.6/8 engine (cross-section), assembly drawings of the damper, as well as force diagrams acting on the parts of the KShM, drawings of the engine-pump and injector-type gas supply schemes.

Keywords: gas engine, operating cycle, intake manifold, CCHM, indicator diagram, dynamic calculation.

# ЗМІСТ

|                   |          |
|-------------------|----------|
| <b>ВСТУП.....</b> | <b>5</b> |
|-------------------|----------|

## **1 ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ**

|                                             |    |
|---------------------------------------------|----|
| 1.1 Описання базового двигуна 4Ч 7,6/8..... | 6  |
| 1.2 Описання водонасосної станції.....      | 19 |
| 1.3 Описання проектового двигуна.....       | 21 |

## **2 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ**

|                                                        |    |
|--------------------------------------------------------|----|
| 2.1 Вимоги до проектового двигуна.....                 | 23 |
| 2.2 Розрахунок робочого процесу газового двигуна.....  | 24 |
| 2.3 Розрахунок індикаторної діаграми .....             | 36 |
| 2.4 Динамічний розрахунок двигуна.....                 | 40 |
| 2.5 Розрахунок теплового балансу газового двигуна..... | 45 |

## **3 НАУКОВИЙ РОЗДІЛ**

|                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.1 Класифікація та описання сучасних систем подачі газу .....            | 52 |
| 3.2 Описання інжекторної системи з розподіленням уприскуванням газу ..... | 55 |
| 3.3 Розрахунок елементів системи подачі газу .....                        | 59 |
| 3.4.1 Розрахунок розмірів заслінки.....                                   | 59 |
| 3.4.2 Розрахунок впускного колектора .....                                | 61 |

## **4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА**

|                                           |    |
|-------------------------------------------|----|
| 4.1 Заходи з охорони праці.....           | 62 |
| 4.2 Захист навколишнього середовища ..... | 67 |

|           |      |            |        |      |                           |           |      |         |
|-----------|------|------------|--------|------|---------------------------|-----------|------|---------|
|           |      |            |        |      | ПІННІ НУК 142.41.25.01 ПЗ |           |      |         |
| Змн.      | Арк. | № докум.   | Підпис | Дата |                           |           |      |         |
| Розроб.   |      | Коцюбенко  |        |      | Пояснювальна записка      | Літ.      | Арк. | Аркушів |
| Перевір.  |      | Дубовець   |        |      |                           |           |      |         |
|           |      |            |        |      |                           |           | 3    | 96      |
| Н. Контр. |      | Дубовець   |        |      |                           | 41-ЕМ-21з |      |         |
| Затверд.  |      | Нестеренко |        |      |                           |           |      |         |

|                                |           |
|--------------------------------|-----------|
| <b>ВИСНОВКИ.....</b>           | <b>73</b> |
| <b>ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ.....</b> | <b>74</b> |

## **ДОДАТКИ**

**ДОДАТОК 1** Двигун-насос А1

**ДОДАТОК 2** Двигун 4ГЧ7,6/8, СК, А1

**ДОДАТОК 3** Схема подачі газу інжекторного типу, СП., А1

**ДОДАТОК 4** Заслінка ,СК., А2

**ДОДАТОК 5** Діаграма індикаторна та сил, що діють на КШМ

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 142.41.25.01 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          | 4    |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

## ВСТУП

Двигуни внутрішнього згорання широко використовуються у всіх галузях народного господарства і в майбутньому вони будуть джерелом енергії для різних енергетичних установок. циклічний принцип здійснення робочого процесу дозволяє реалізовувати у двигуні внутрішнього згорання високу температуру та тиск газу, завдяки чому ДВС є економнішими енергетичними установками порівняно з іншими тепловими двигунами.

Але розвиток конструкції ДВЗ в даний час відбувається в умовах інтенсивного виснаження світових запасів нафти та жорстоких вимог до екологічних характеристик двигуна: токсичності, рівня шуму та вібрацій. Це ускладнює вирішення задачі про вдосконалення технічних характеристик ДВЗ.

Сучасний двигун складається з безлічі різноманітних деталей, систем і механізмів, від роботи яких значною мірою залежать такі параметри: вага, технічні характеристики двигуна.

У цій кваліфікаційній роботі бакалавра пропонується спрощений варіант системи подачі газу інжекторного типу.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 142.41.25.01 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          | 5    |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

## 1 ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

Під час розробки двигуна потужністю 45 кВт для водонасосної станції в якості базового двигуна було обрано бензиновий двигун 4Ч 7,6/8.

Для стаціонарної водонасосної установки, яка переважно функціонує в режимі постійного навантаження, найоптимальнішим рішенням є використання двигуна з низькими експлуатаційними витратами — на паливе, обслуговування, ремонт та налаштування паливної системи.

У зв'язку з цим у проєкті передбачено використання газової модифікації двигуна — 4ГЧ 7,6/8, обладнаної інжекторною системою подачі газу з електронним керуванням та можливістю точного налаштування.

Розроблений двигун-насос призначений для експлуатації у складі стаціонарних водонасосних станцій і виконує функцію основного джерела водопостачання для споживача.

### 1.1 Описання базового бензинового двигуна 4Ч 7,6/8

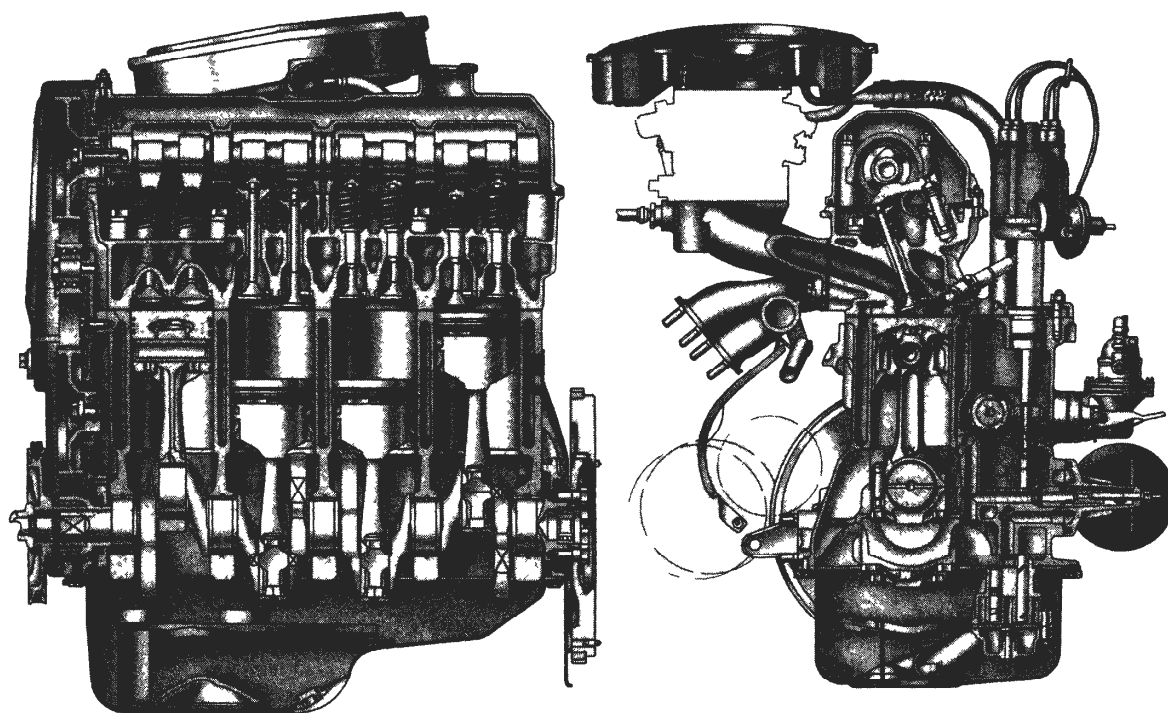


Рис.  
1.1

Поздовжній і поперечний розрізи двигуна.

## Блок циліндрів

Основні розміри блоку циліндрів вказані на рис. 1.2. Блок циліндрів відлив із спеціального низьколегованого високоміцного чавуну. Циліндри розточуються безпосередньо в блоці і вставних гільз не мають. У нижній частині блоку циліндрів розташовано п'ять опор для корінних підшипників колінчастого валу. Кришки корінних підшипників колінчастого валу обробляються в зборі з блоком циліндрів, тому вони невзаємозамінні і для відмінності мають риски на зовнішній поверхні.

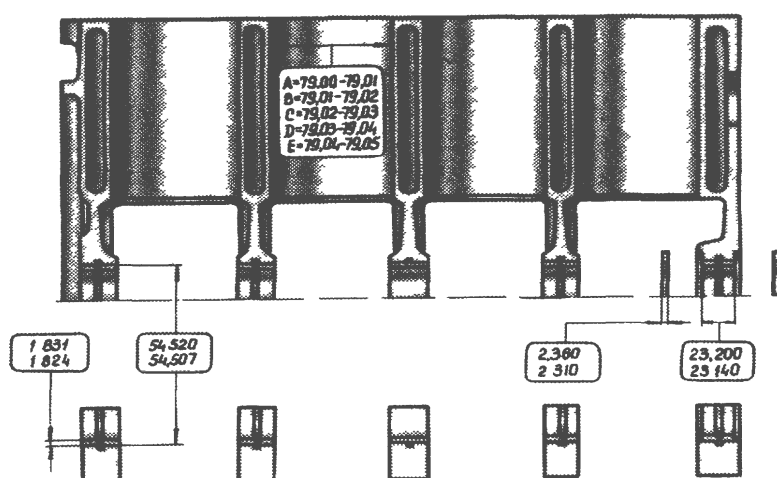


Рис. 1.2 Основні розміри блоку циліндрів.

З передньої частини блоку циліндрів знаходиться ремінний привід розподільного валу і валу приводу допоміжних агрегатів (масляного насоса, розподільника запалення і паливного насоса). Вал обертається в двох сталєалюмінієвих втулках, запресованих в блок циліндрів. З 1984 р. задня втулка виготовляється з металокераміки. У запасні частини поставляються втулки номінального і ремонтного розміру із зменшеним на 0,3 мм внутрішнім діаметром.

З переду блок циліндрів закритий кришкою приводу розподільного валу з переднім самопіджимним сальником колінчастого валу і з сальником валу

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 142.41.25.01 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          | 7    |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

приводу масляного насоса і розподільника запалення. Ззаду до блоку циліндрів прикріплений утримувач заднього сальника колінчастого валу.

Знизу блок циліндрів закритий сталевим штампованим масляним картером. Між блоком циліндрів і картером, а також між блоком циліндрів і кришкою приводу розподільного валу встановлюються пробко-гумові прокладки.

### Кривошипний-шатунний механізм

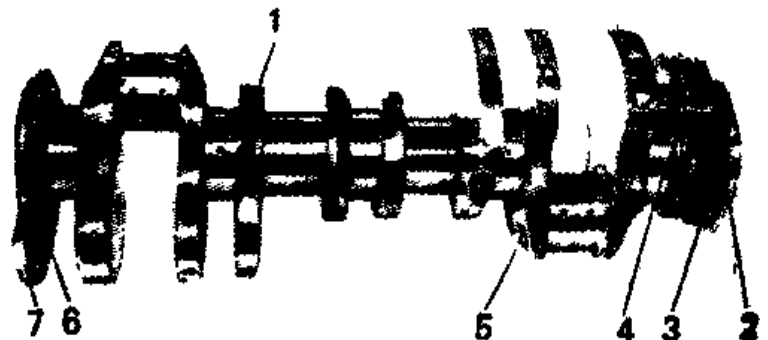
Колінчастий вал – сталевий, п'ятиопорний. Поверхні шийок валу загартовані струмом високої частоти на глибину 2 – 3 мм. У задньому кінці колінчастого валу виконано гніздо під передній підшипник провідного валу коробки передач, по зовнішньому діаметру якого центрується маховик.

Шатунні і корінні шийки колінчастого валу з'єднуються каналами, по яких підводиться масло для змащення шатунних підшипників. Технологічні виходи каналів закриті ковпачковими заглушками, які запресовані і для надійності закарбовані в трьох точках. Для подовження терміну служби колінчастого валу передбачена можливість перешліфовування шийок колінчастого валу при зносі або пошкодженні їх поверхонь. Шліфуванням діаметри шийок зменшуються на 0,25; 0,5; 0,75 і 1,00 мм.

Вкладиші корінних і шатунних підшипників сталеві. Верхні вкладиші 1-, 2-, 4- і 5-го корінних підшипників мають канавку на внутрішній поверхні, а нижні без канавки. Вкладиші центрального (3-го) корінного підшипника відрізняються від інших більшою шириною і відсутністю канавки на внутрішній поверхні. Всі вкладиші шатунних підшипників без канавок, однакові і взаємозамінні.

Рис. 1.3 Колінчастий вал в зборі:

- 1 – вал колінний; 2 - масловідбивач;
- 3 - шестерня ведуча; 4 - противага задня;
- 5 - заглушка шатунної шийки;
- 6 - шестерня приводу масляного насоса;
- 7- противага передня.



|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 142.41.25.01 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          | 8    |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

Маховик відливається з чавуну і забезпечений сталевим зубчатим вінцем

для пуску двигуна стартером. Маховик встановлюється на колінчастий вал так, щоб мітка (конусоподібна лунка біля зубчатого вінця) – знаходилася проти шатунної шийки 4-го циліндра. Мітка служить для визначення ВМТ в першому і четвертому циліндрі.

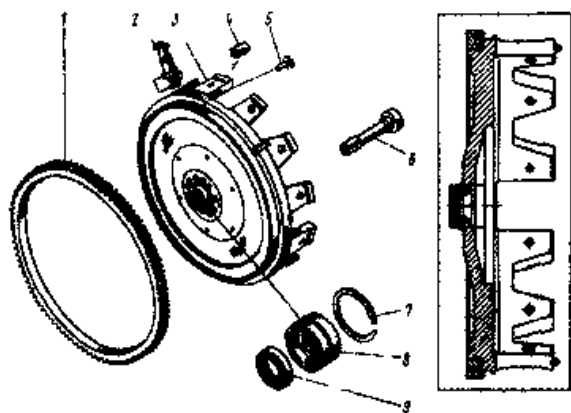


Рис. 1.4 Маховик:

1 - вінець зубчатий; 2 - фіксатор маховика; 3 - маховик; 4, 8 - втулки настановні; 5-сухар віджимного важеля зчеплення; 6 - болт кріплення маховика; 7- кільця опорне, пружинне; 9 - манжета провідного валу коробки передач.

Поршень виготовлений з алюмінієвого сплаву і покритий шаром олова для поліпшення пропрацьовування. Спідниця поршня в поперечному перетині овальна, а по висоті конічна. Тому вимірювати діаметр поршня необхідно тільки в площині, перпендикулярній поршневому пальцю і на відстані 52,4 мм від днища поршня. Отвір під поршневий палець зміщений від осі симетрії на 2 мм в праву сторону двигуна. Тому для правильної установки поршня в циліндр біля отвору під поршневий палець є мітка «П» яка повинна бути обернена у бік передньої частини двигуна.

Поршні ремонтних розмірів для всіх моделей двигунів виготовляються із збільшеним на 0,4 і 0,8 мм зовнішнім діаметром

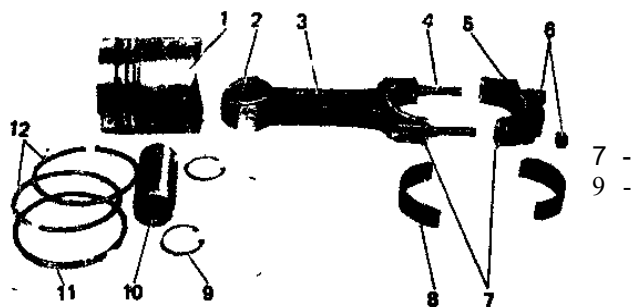
Поршневі кільця виготовлені з чавуну. Зовнішня поверхня верхнього компресійного кільця хромована і має бочкоподібну форму. Нижнє компресійне кільце – скребкового типу (з виточкою по зовнішній поверхні), фосфатоване. Маслосборне кільце має прорізи для масла, що знімається з циліндра, і внутрішню витку пружину (розширювач).

Поршневий палець — сталевий, трубчастого перетину, запресований у верхню головку шатуна і вільно обертається в бобишках поршня.

Шатун — сталевий, кований, з роз'ємною нижньою головкою, в якій встановлюються вкладиші шатунного підшипника. Шатун обробляється разом з кришкою, тому при збірці цифри на шатуні і кришці повинні бути однакові.

Рис. 1.5 Шатуново-поршнева група:

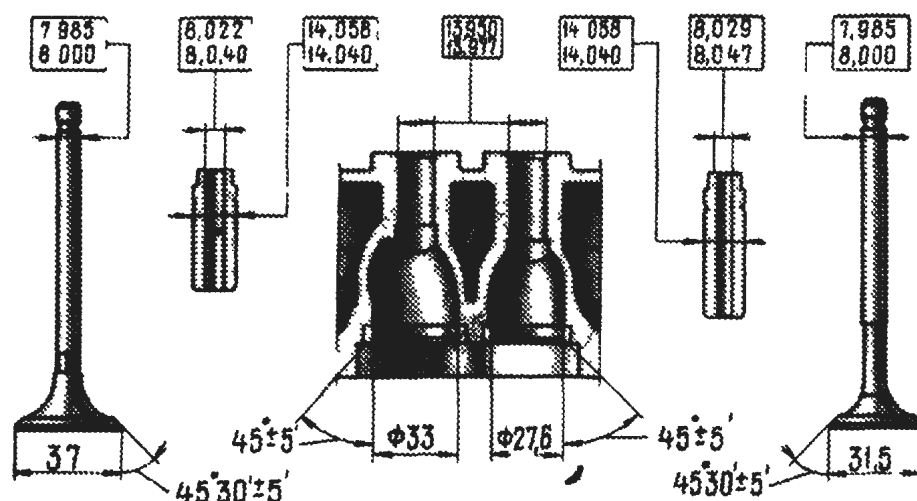
1 - поршень; 2 - втулка верхньої головки шатуна; 3 - шатун; 4 - болт шатуновий; 5 - кришка шатуна; 6 - гайка; мітка обдарованості; 8 - вкладиш нижньої головки шатуна; кільце стопорне; 10 - палець; 11 - кільце маслосъёмное; 12 - кільця компресійні.



## Механізм газорозподілу

Механізм газорозподілу призначений для впускання в циліндри повітря і випуску відпрацьованих газів. Відкриття і закриття впускних і випускних клапанів відбувається в строго певних положеннях по відношенню до верхньої і нижньої мертвим точкам, які відповідають кутам повороту шийки колінчастого валу, вказаним в діаграмі фаз газорозподілу.

Головка циліндрів — загальна для чотирьох циліндрів, відлила з алюмінієвого сплаву. Основні розміри головки циліндрів клапанів і направляючих втулок дані на рис. 1.6.



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

ПІННІ НУК 142.41.25.01 ПЗ

Арк.

10

Рис. 1.6 Основні розміри клапанів і направляючих втулок.

У головку циліндрів запресовані чавунні сідла і направляючі втулки клапанів. Робочі фаски сідел обробляються після запресовки в зборі з головкою циліндрів, щоб забезпечити точну співвісність фасок з отворами направляючих втулок клапанів.

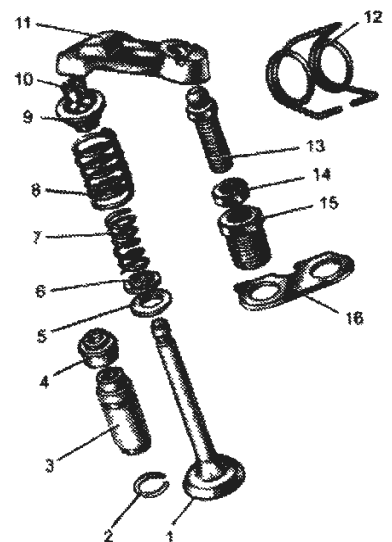
Отвори у втулках обробляються також після запресовки втулок в головку циліндрів. Це робиться для забезпечення точності діаметру отвору і його розташування по відношенню до робочих фасок сідла і клапана. У отворах направляючих втулок є спіральні канавки для мастила. У втулок впускних клапанів канавки нарізані до половини довжини отвору, а у втулок випускних клапанів – на всій довжині отвору.

Зверху на направляючі втулки надягають масловідбивні ковпачки з тепломаслостійкої гуми із сталевим арматурним кільцем. Ковпачки охоплюють стрижні клапанів і служать для зменшення проникнення масла в камеру згорання через зазори між направляючою втулкою і стрижнем клапана.

Кожен клапан має дві циліндрові пружини: зовнішню і внутрішню, що спираються на дві опорні шайби. Зверху пружини упираються в тарілку, яка утримується на стрижні клапана двома з тими, що мають в складеному вигляді форму усіченого конуса.

Рис. 1.7 Деталі клапанного механізму:

1 - клапан; 2 - стопорне кільце; 3 - направляюча втулка; 4 - масловідбивний ковпачок; 5 - опорна шайба зовнішньої пружини; 6 - опорна шайба внутрішньої пружини; 7 - внутрішня пружина; 8 - зовнішня пружина; 9 - тарілка пружини; 10 - сухарі; 11 - важіль приводу клапана; 12 - пружина важеля; 13 - регулювальний болт; 14 - контргайка регулювального болта; 15 - втулка регулювального болта; 16 - стопорна пластина пружини важеля.



Розподільний вал – чавунний, литий, обертається на п'яти опорах в алюмінієвому литому корпусі підшипників, встановленому на головці циліндрів. Від

осьових переміщень утримується упорним фланцем, розташованим в проточці передньої опорної шийки валу. Основні розміри розподільного валу і корпусу підшипників розподільного валу дані на рис. 1.8.

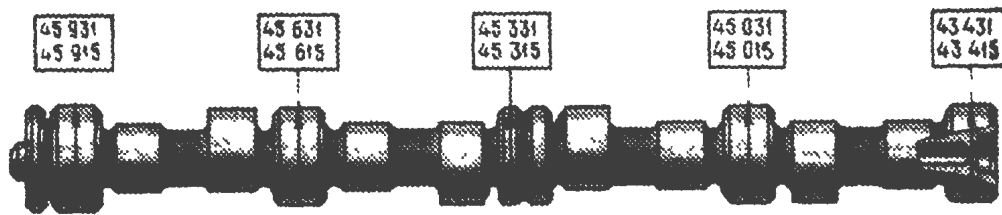


Рис. 1.8 Основні розміри розподільного валу.

На двигунах встановлюються азотовані розподільні вали з відбіленням кулачків; ці вали мають відмітний шестигранний поясок між 3-м і 4-м кулачками.

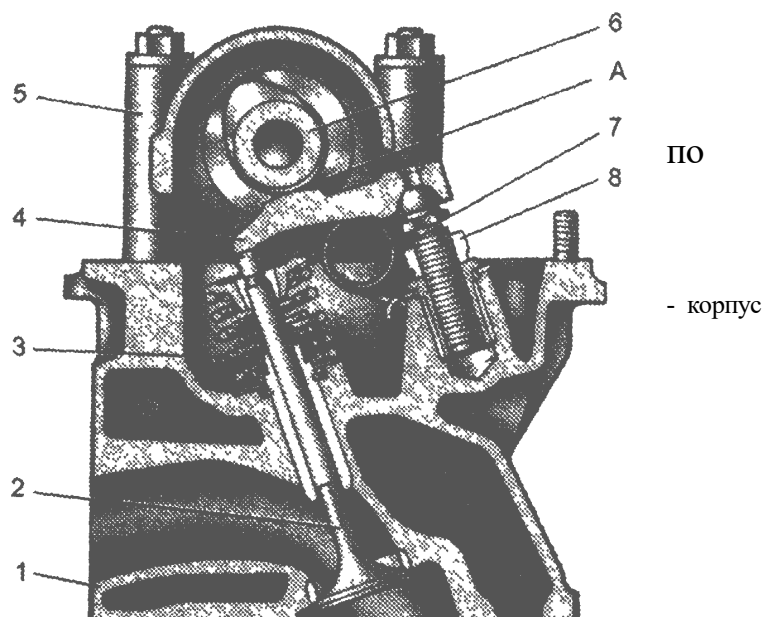
Клапани приводяться в дію розподільним валом через короткі сталеві важелі 4 (рис. 1.9). Важелі гойдаються на сферичній головці болта, яким регулюється зазор А між кулачками розподільного валу і важелями.

Привід розподільного валу здійснюється від провідного шківа колінчастого валу зубчатим ременем. Цим же ременем приводиться і шків валу приводу масляного насоса. Натягнення ремня регулюється за допомогою натяжного ролика, який закріплений на кронштейні і обертається на дворядному кульковому підшипнику.

Привід ізольований від попадання масла трьома сальниками, що охоплюють маточини шківів. Зовні привід закритий трьома пластмасовими кришками: верхньою середньою і нижньою.

Рис. 1.9 Розріз головки циліндрів випускному клапану:

1 - головка циліндрів; 2 - випускний клапан; 3 - масловідбивний ковпачок; 4 - важіль клапана; 5 - підшипник розподільного валу; 6 - розподільний вал; 7 - регулювальний болт; 8 - контргайка болта; А - зазор між важелем і кулачком розподільного валу.



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

ПІННІ НУК 142.41.25.01 ПЗ

Арк.

12

## Система охолодження

Система охолодження – рідинна, закритого типу, з примусовою циркуляцією рідини, з розширювальним бачком.

Насос охолоджуючої рідини відцентрового типу, приводиться в дію від шківів колінчастого валу клиновидним ременем 14 (рис. 1.10).

Вентилятор 11 має чотирьохлопатеву крильчатку, яка кріпиться болтами до маточини 6 (рис. 1.12) шківів 8, приводиться в дію від ременя приводу насоса.

Термостат з твердим термочутливим наповнювачем має основний 9 (рис. 1.11) і перепускний 2 клапани. Початок відкриття основного клапана при температурі охолоджуючої рідини  $77 - 86^{\circ}\text{C}$  ход основного клапана не менше 6 мм.

Радіатор – вертикальний, трубчасто-пластинчастий, з двома рядами трубок і сталевими лудженими пластинами. У пробці 8 (рис. 1.10) заливної горловини є впускний і випускний клапани.

Температура охолоджуючої рідини в системі плюс  $77...86^{\circ}\text{C}$ . Тепловий режим двигуна регулюється автоматично термостатами і вмикачем гідромуфти приводу вентилятора, які управляють напрямом потоку рідини і роботою вентилятора залежно від температури охолоджуючої рідини в двигуні.

|      |      |          |        |      |                           |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПІННІ НУК 142.41.25.01 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                           | 13   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                           |      |

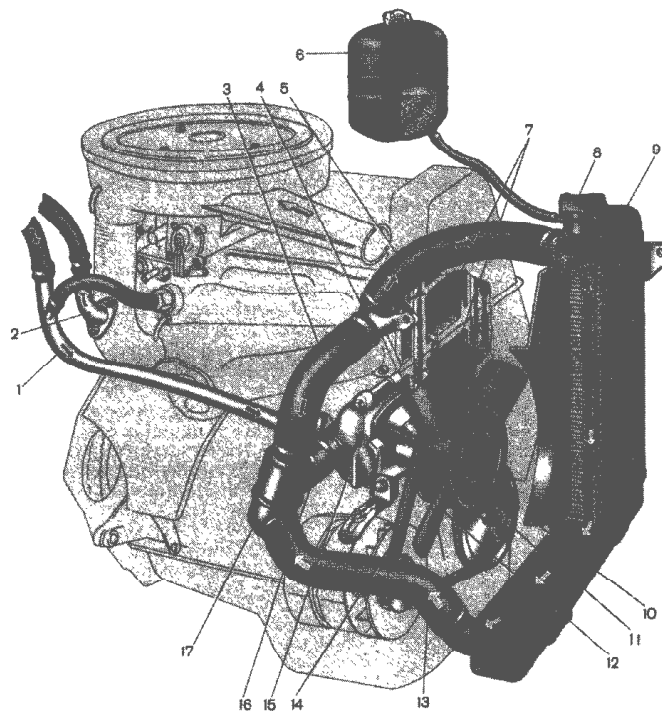


Рис. 1.10 Будова системи охолодження:

1 - трубка відведення рідини від радіатора обігрівача; 2 - патрубок відведення гарячої рідини з головки циліндрів в радіатор обігрівача; 3 - перепускний шланг термостата; 4 - випускний патрубок сорочки охолодження; 5 - шланг радіатора, що підводить; 6 - розширювальний бачок; 7 - сорочка охолодження; 8 - пробка радіатора; 9 - трубка радіатора; 10 - кожух вентилятора; 11 - вентилятор; 12 - шків; 13 - відвідний шланг радіатора; 14 - ремінь вентилятора; 15 - насос охолоджуючої рідини; 16 - шланг подачі охолоджуючої рідини в насос; 17 – термостат.

Для прискорення прогрівання двигуна, а також підтримки температурного режиму двигуна в холодну пору року перед радіатором встановлені жалюзі.

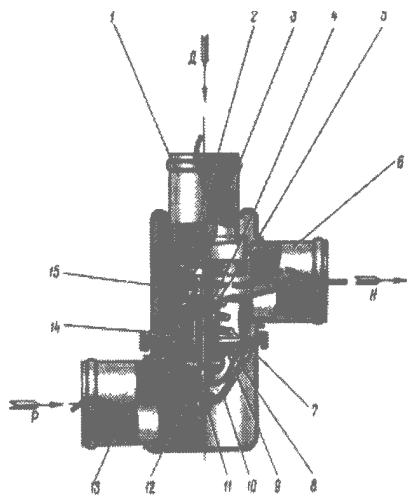
Радіатор кріплять на автомобілі в трьох точках на гумових подушках, ступінь затягування яких обмежується втулками розпорів.

Жалюзі – стулкові, управляються з кабіни водія ручкою, розташованою під щитком приладів, праворуч від рульової колонки. Щоб закрити жалюзі, треба потягнути ручку на себе. Закривати жалюзі слід при прогріванні двигуна, а також при русі у разі пониження температури охолоджуючої рідини.

Жалюзі радіатора призначені для регулювання потоку повітря, що прокачується через ґрати радіатора. Вони виконані у вигляді набору горизонтальних пластин з оцинкованого заліза, об'єднані загальною рамкою і забезпечені шарнірним пристроєм, що забезпечує одночасний поворот їх біля осей. Жалюзі прикріплюють до каркаса радіатора перед охолоджуючими ґратами.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 142.41.25.01 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          | 14   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

Вентилятор – осьового типу, чотирьохлопастний, встановлений на веденому валу гідромуфти. Вентилятор обертається у встановленому на рамці радіатора



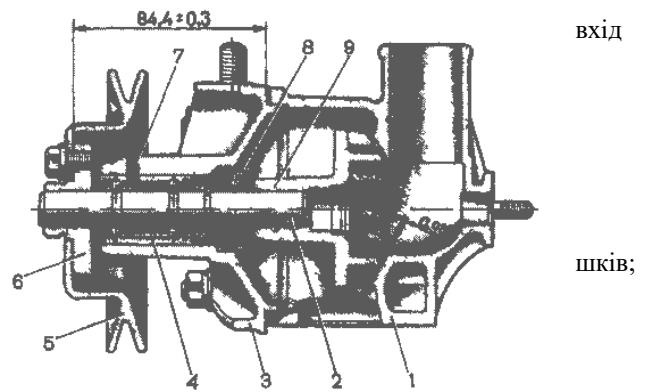
дифузори, який зменшує підсос lopастями повітря з боків і тим самим сприяє збільшенню потоку повітря, що просмоктується вентилятором через радіатор.

Рис. 1.11 Термостат:

1 - вхідний патрубок: (від двигуна); 2 - перепускний клапан; 3 - пружина перепускного клапана; 4 - стакан; 5 - гумова вставка; 6 - вихідний патрубок; 7 - пружина основного клапана; 8 - сідло основного клапана; 9 - основний клапан; 10 - утримувач; 11 - регулювальна гайка; 12 - поршень; 13 - вхідний патрубок від радіатора; 14 - наповнювач; 15 - обойма. Про - вхід рідини від двигуна; Р - вхід рідини від радіатора; Н - вихід рідини до насоса

Рис. 1.12 Насос охолоджуючої рідини:

1- корпус; 2 - вал насоса; 3 - кришка; 4 - підшипник; 5 - 6 - ступиця шківів; 7 - стопорний гвинт підшипника; 8 - сальник; 9 - крильчатка.



## Система мащення

Система мащення двигуна комбінована, з «мокрим» картером. Масло під тиском подається до корінних і шатунних підшипників колінчастого валу, до підшипників розподільного валу, втулок коромисел, до підшипників паливного насоса високого тиску і компресора.

Передбачена пульсуюча подача масла до верхніх сферичних опор штанг штовхачів.

Під тиском змащуються корінні і шатунні підшипники, опори і кулачки розподільного валу, підшипники валу 10 (рис. 1.13), шестерня приводу масляного насоса 1 і розподільника запалення. Маслом, що витікає із зазорів і розбризкуваним рухомими деталями, змащуються стінки циліндрів, поршні з

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 142.41.25.01 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          | 15   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

поршневими кільцями, поршневі пальці в бобишках поршня, ланцюг приводу розподільного валу, опори важелів приводу клапанів, а також стрижні клапанів в їх направляючих втулках.

При падінні тиску масла нижче допустимого спалахує контрольна лампа недостатнього тиску масла.

Масляний насос 1 – шестерного типу, з редукційним клапаном, встановлений усередині картера і кріпиться до блоку циліндрів двома болтами.

Масляний фільтр 28 – повнопоточний, нерозбірний, з перепускним і протидренажним клапанами.

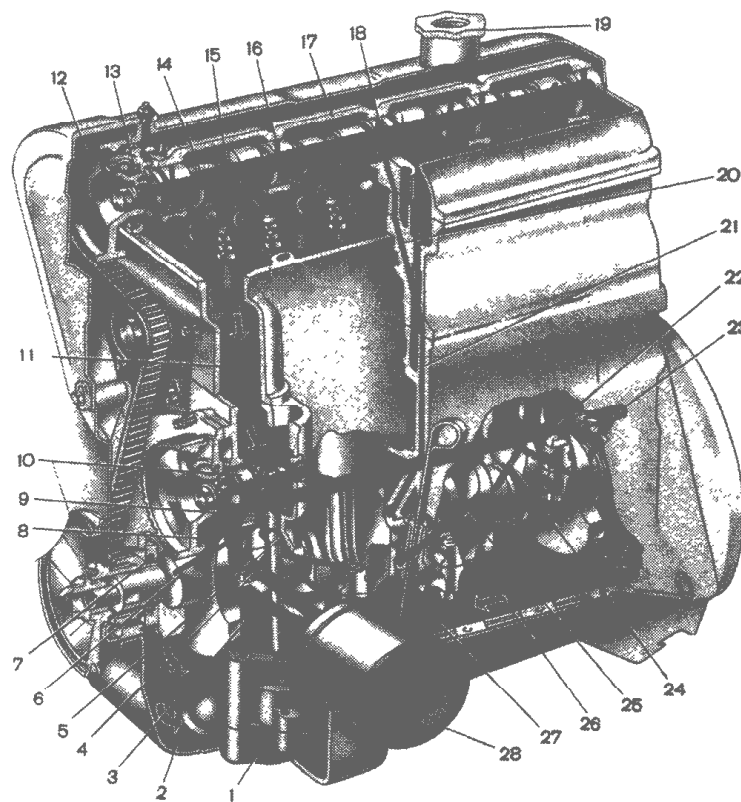


Рис. 1.13 Будова системи мащення:

1 – масляний насос; 2 – масляний картер; 3 – канал подачі масла від насоса до фільтра; 4 – горизонтальний канал в блоці циліндрів для подачі масла від фільтра в масляну магістраль; 5 – канал в блоці циліндрів для подачі масла до шестерні приводу масляного насоса і розподільника запалення; 6 – канал в шийці колінчастого валу; 7 – сальник колінчастого валу; 8 – канал подачі масла від масляної магістралі до корінного підшипника і до валу приводу масляного насоса і розподільника запалення; 9 – втулка шестерні приводу масляного насоса і розподільника запалення; 10 – вал приводу масляного насоса і розподільника запалення; 11 – канал для стоку масла в картер двигуна; 12 – шків розподільного валу; 13 – сальник розподільного валу; 14 – канал в кулачці розподільного валу; 15 – магістральний канал в розподільному валу; 16 – канал в опорній шийці розподільного валу; 17 – корпус підшипників розподільного валу; 18 – кільцева виточка на середній опорній шийці; 19 – кришка маслозаливної горловини; 20 – похилий канал в головці циліндрів для подачі масла до газорозподільного механізму; 21 – вертикальний канал в блоці циліндрів; 22 – масляна магістраль; 23 – датчик контрольної лампи тиску масла; 24 – канал подачі масла до корінного підшипника; 25 – канал подачі масла від корінного підшипника до шатунового; 26 – колінчастий вал; 27 – показчик рівня масла; 28 – масляний фільтр.

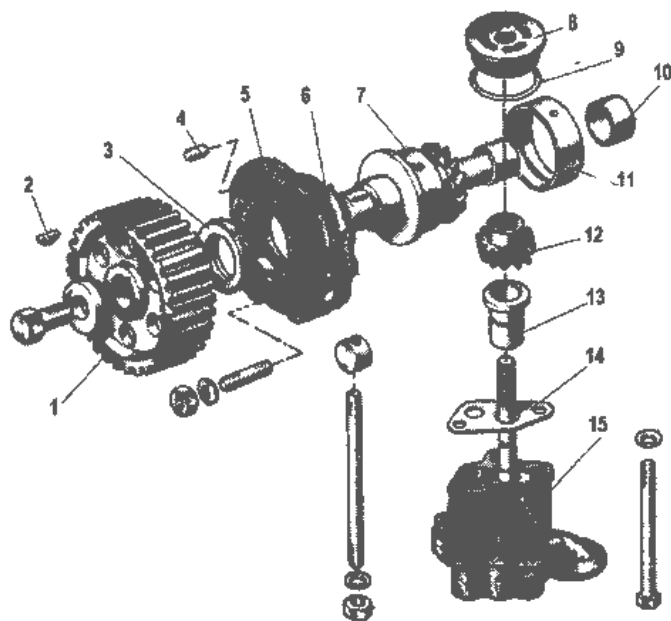


Рис. 1.14 Масляний насос:

1 – шпонка; 2 – шків приводу масляного насоса; 3 – сальник; 4 – штифт; 5 - утримувач сальника; 6 – вал приводу масляного насоса; 7 – заглушка; 8,9 – втулки валу приводу масляного насоса; 10 – шестерня приводу масляного насоса; 11 – втулка шестерні приводу; 12 – вал; 13 – корпус масляного насоса; 14 – шпилька

## Система живлення

Система живлення паливом забезпечує очищення палива і рівномірний розподіл його по циліндрах двигуна строго дозованими порціями.

Система живлення включає прилади подачі палива, повітря і випуску відпрацьованих газів.

Паливний бак 8 (рис. 1.15) зварний, штампований із сталевого листа, що освинцьований, забарвлений чорною емаллю. Бак встановлений в багажнику з правого боку на гумовій прокладці і кріпиться до кузова двома хомутами 10, стягнуті болтом.

Паливний насос високого тиску 2 одноплунжерний, розподільного типу, з електромагнітним клапаном відключення подачі палива, з паливопідкачуючим насосом низького тиску роторно-лопаточного типу, з дворежимним регулятором подачі палива.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 142.41.25.01 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          | 17   |

Форсунки закритого типу, штифтові. Тиск початку підйому голки розпилювача  $15 \pm 0,5$  МПа ( $147 \pm 5$  кгс/см<sup>2</sup>). Крутний момент затягування паливних форсунок повинен бути 68,7 Нм (7 кгсм).

Повітряний фільтр сухого типу складається з корпусу 11 (рис. 1.16), кришки 5 і фільтруючого елементу. На патрубок повітряного фільтру встановлюється терморегулятор 3.

Перестановкою заслінки 13 терморегулятора залежно від температури навколишнього повітря перекривають вручну забірник 2 і відкривають доступ теплого повітря від повітряного забірника 12 або навпаки.

Фільтр очищення палива (рис. 18) одноступінчатий із змінним фільтруючим елементом 7 із спеціального картону, з вбудованим водовіддільником і пробкою 9 для зливу відстою, сигналізатором наявності води. На кронштейні фільтру встановлений електропідігрівач 3 і насос ручної підкачки палива.

Електропідігрівач включається при температурі навколишнього повітря нижче 0 °С вмикачем на панелі приладів автомобіля після пуску двигуна. При цьому спалахує контрольна лампа підігріву палива. Включення електропідігрівача палива при температурі що оточує повітрі вище 0 °С не рекомендується.

Рис. 1.15 Деталі паливної системи:

1 – паливний фільтр; 2 – паливний насос високого тиску; 3 – шланг; 4 – зливний шланг; 5 – хомут; 6 – зливна трубка; 7 – датчик рівня палива; 8 – паливний бак; 9 – трубка паливоподачі.

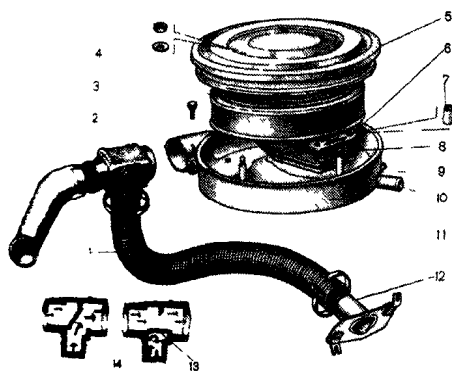
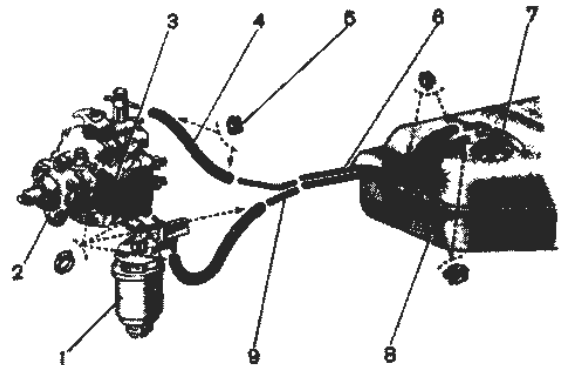


Рис. 1.16 Деталі повітряного фільтру:

1 – шланг повітряного забірника теплого повітря; 2 – забірник холодного повітря; 3 – терморегулятор; 4 – фільтруючий елемент; 5 – кришка; 6 – пластина кріплення фільтру; 7 – дистанційна втулка; 8 – прокладка; 9 – патрубок для відведення газів картерів до золотникового пристрою карбюратора; 10 – витяжний колектор газів картерів; 11 – корпус повітряного фільтру; 12 – повітряний забірник теплого повітря; 13 – заслінка терморегулятора, 14 – корпус терморегулятора.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 142.41.25.01 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          | 18   |

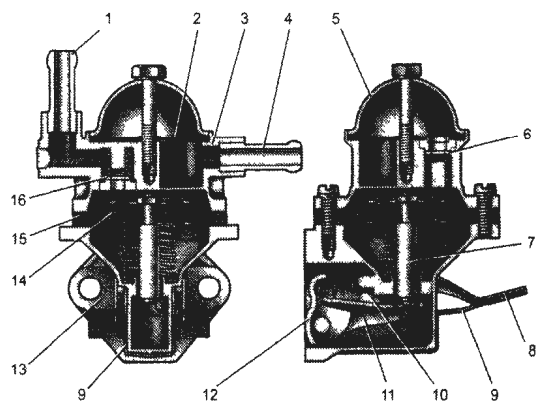


Рис. 1.17 Паливний насос:

1 – нагнітальний патрубок; 2 – фільтр; 3 – корпус; 4 – всмоктуючий патрубок; 5 – кришка; 6 – всмоктуючий клапан; 7 – тяга; 8 – важіль ручної підкачки палива; 9 – пружина; 10 – ексцентрик; 11 – балансир; 12 – важіль механічної підкачки палива; 13 – нижня кришка; 14 – внутрішня дистанційна прокладка; 15 – зовнішня дистанційна прокладка; 16 – нагнітальний клапан

Рис. 1.18 Паливний фільтр:

1 – стягуючий гвинт; 2 і 4 – кільця ущільнювачів; 3 – електродіодігрівач палива; 5 – клемма електродіодігрівача; 6 – фланець; 7 – фільтруючий елемент; 8 – корпус фільтру; 9 – пробка зливу відстою

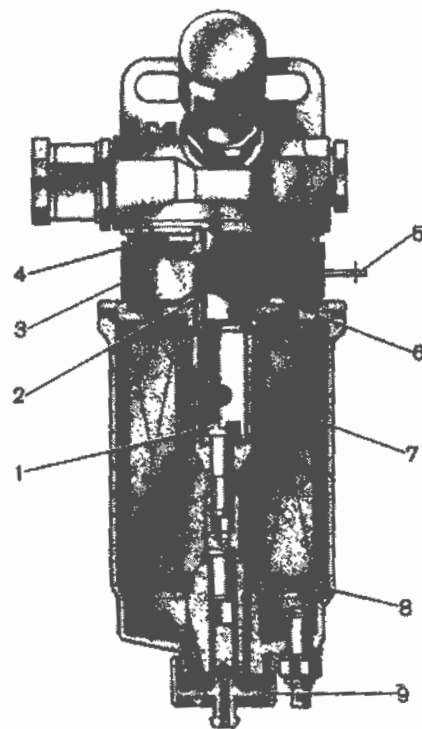
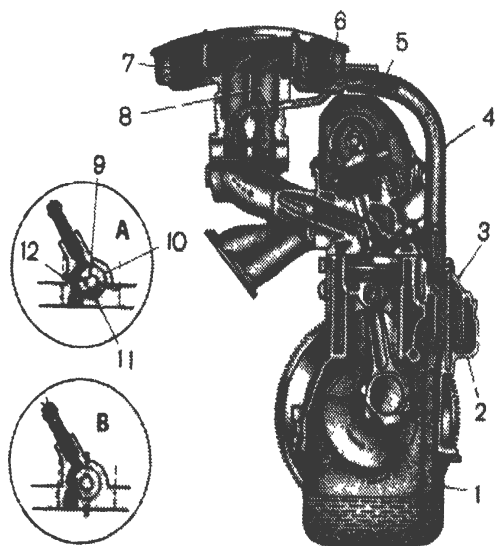


Рис. 1.19 Схема вентиляції картера двигуна:

А і В – робота золотникового пристрою карбюратора при малій частоті обертання колінчастого валу (А) і при високій (В). 1 – зливна трубка масловіддільника; 2 – масловіддільник; 3 – кришка сапуна; 4 – шланг відсмоктування газів; 5 – полум'ягасник; 6 – витяжний колектор 7 – фільтруючий елемент у фільтру; 8 – шланг відведення газів в задросельний простір карбюратора; 9 – вісь дросельної заслінки первинної камери; 10 – золотник; 11 – канавка золотника; 12 – отвір, що калібрується.

## 1.2 Описання водонасосної станції на базі двигуна 4ГЧ 7,6/8

Водонасосна станція на базі двигуна 4Ч 7,6/8 складається з однієї силової установки, в яку входять: двигун типу 4ГЧ 7,6/8 та насос потужністю 45 кВт, з'єднаний з двигуном через одноступінчасту зубчасту циліндричну передачу з передатним числом 6, які встановлені на загальній рамі.

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

ПІННІ НУК 142.41.25.01 ПЗ

Арк.

19

Силова установка розташована на масивному фундаменті для зменшення вібрації та шуму.

В контейнері водонасосної станції знаходиться обладнання обслуговуюче двигуни, а саме: радіаторна система охолодження, вентиляція, бак води резервний, бак масла, акумуляторна батарея з вентиляцією, щит керування. Ззовні на контейнері розташовані глушник-іскрогасник та блок газових балонів.

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

Також в контейнері встановлена протипожежна система .

Газовий двигун-насос і вище перелічене комплектує устаткування (окрім глушника-іскрогасника та газових балонів) розміщено усередині укриття в загальному приміщенні.

Укриття є легко розбірною конструкцією, спроектованою по типу контейнера. В поперечному розрізі укриття повторює контур габариту вантаження на залізничну платформу і може перевозитися як по залізниці, так і водним або автомобільним транспортом.

Укриття складається з нижньої призматичної частини і верхнього знімного даху у формі трапецієвидної призми, сполучених болтами М20, між зовнішніми і внутрішніми стінками укриття знаходиться утеплювач з мінераловатних прошитих будівельних матів. Для виконання поточних ремонтів газового двигун-насоса, що вимагають демонтажу головки циліндрів і деталей циліндро-поршневої групи, необхідно знімати укриття. Для кріплення двигун-насоса передбачені сталеві смуги з різьбовими отворами.

Всередині укриття забарвлене маслостойким лакофарбним покриттям, а зовні – покриттям, стійким на відкритому повітрі.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 142.41.25.01 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          | 20   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

Підняття електричної станції здійснюється за допомогою чотирьох петель, розташованих у верхній частині укриття. На місці експлуатації водонасосна станція встановлюється на жорсткому фундаменті.

Газовий двигун-насос повною потужністю 40 кВт складається з високооборотного чотири-тактного чотири циліндрового газового двигуна типу 4ГЧ7,6/8 і насосу загально промислового призначення Д500-63а-2, з'єднаних між собою одноступінчастою циліндричною зубчастою передачею (редуктором) змонтованих на загальній сталевій зварній рамі. З'єднання газового двигуна з редуктором та редуктора з насосом жорстке фланцеве.

Газовий двигун-насос має водо-водяну систему охолодження.

Ящик акумуляторних батарей є коробчатою металевою конструкцією з трубою вентиляції і призначений для розміщення двох акумуляторних батарей типу 6СТ-190А місткістю 190 амперів-година кожна. Паралельне з'єднання батарей забезпечує напругу струму 12 В, що необхідне для резервного живлення системи автоматизованого управління двигун-насосом і аварійного освітлення електричної станції.

### 1.3 Описання елементів спроектованого двигуна

Технічні характеристики проектованого двигуна.

1. Діаметр циліндра D.....0,076 м.
2. Хід поршня S.....0,08 м.
3. Ефективна потужність двигуна  $N_e$ .....45кВт.
4. Частота обертання  $n$ .....6000 хв<sup>-1</sup>

### Описання двигуна

Спроекований двигун відноситься до складу високооборотних двигунів.

Двигун 4ГЧ 7,6/8 – чотирьохтактний, тунковий, простої дії, нереверсивний, з циліндровою потужністю  $N_{e_{ц}} = 11,25$  кВт при 6000 об/хв.

Двигун призначений для використання в якості приводу водяного насосу.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 142.41.25.01 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          | 21   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

В процесі проектування двигуна враховувались теплові і механічні навантаження на деталі і вузли двигуна.

Були враховані вимоги, які вимагаються від газових двигунів:

- Забезпечення високої економічності.
- Висока надійність і довговічність роботи.
- Забезпечення допустимого рівня шуму і вібрації.
- Зручність ремонту і обслуговування.

Питання компоновки і конструкції двигуна вирішувались з урахуванням вище перерахованих вимог. При розробленні аналізувалися загальні компоновки, конструкції окремих вузлів і деталей.

|      |      |          |        |      |                           |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПІННІ НУК 142.41.25.01 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                           | 22   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                           |      |

## 2 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

### 2.1 Вимоги до проектованого двигуна.

Для досягнення економічної ефективності необхідно враховувати всі фактори, що впливають на витрату палива та мастила. Окрім оптимізації параметрів робочого циклу для забезпечення високого ефективного ККД, важливо також раціонально спроектувати всі системи двигуна, обрати оптимальний режим охолодження та інші експлуатаційні умови.

Надійність двигуна забезпечується продуманою конструкцією. Розрахунки міцності основних корпусних та рухомих деталей мають здійснюватися з урахуванням допустимих рівнів навантажень і напружень, які виникатимуть під час роботи. Також необхідно передбачити можливі експлуатаційні режими, що можуть вплинути на ресурс двигуна.

Допустимий рівень шуму досягається шляхом застосування шумоглушників та реалізації конструктивних заходів для зниження шуму в окремих вузлах. Зменшення токсичності вихлопних газів забезпечується правильним налаштуванням параметрів згоряння, зокрема кута випередження подачі палива та коефіцієнта надлишку повітря.

У процесі конструювання важливо забезпечити зручний доступ до основних вузлів, уніфікацію деталей для взаємозамінності, а також можливість легкого демонтажу поршня з шатуном через циліндр. Варто уникати надлишку трубопроводів і навісного обладнання, яке можна винести за межі основної конструкції.

Комплексне поєднання раціональних інженерних рішень, ретельного доопрацювання під час випробувань і експлуатації дозволяє створити двигун, що відповідатиме найвищим сучасним стандартам.

- потужність двигуна – 45 кВт;
- паливо – природний газ

|      |      |          |        |      |                           |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПІННІ НУК 142.41.25.01 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                           | 23   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                           |      |

## 2.2 Розрахунок робочого процесу двигуна

### Умова завдання:

|                                     |         |      |                  |
|-------------------------------------|---------|------|------------------|
| Ефективна потужність                | $P_e =$ | 45   | кВт              |
| Частота обертання колінчастого валу | $n =$   | 6000 | $\text{хв}^{-1}$ |
| Діаметр циліндра                    | $d =$   | 76   | мм               |
| Хід поршня                          | $S =$   | 80   | мм               |
| Ступінь стиску                      | $e =$   | 8,5  |                  |
| Коефіцієнт надлишку повітря         | $a =$   | 1,25 |                  |
| Число циліндрів                     | $i =$   | 4    |                  |
| Коефіцієнт тактності                | $Z =$   | 4    |                  |

### Вихідні дані теплового розрахунку.

|                                             |              |        |                    |
|---------------------------------------------|--------------|--------|--------------------|
| Тиск навколишнього середовища               | $P_a =$      | 100    | кПа                |
| Температура навколишнього середовища        | $T_a =$      | 293    | К                  |
| Підігрів свіжого заряду                     | $\Delta T =$ | 20     | К                  |
| Тиск залишкових газів                       | $P_r =$      | 110    | кПа                |
| Температура залишкових газів                | $T_r =$      | 820    | К                  |
| Ступінь підвищення тиску                    | $\lambda =$  | 2,8    |                    |
| Середнє значення показника політропи:       |              |        |                    |
| стиску                                      | $n_1 =$      | 1,38   |                    |
| розширення                                  | $n_2 =$      | 1,27   |                    |
| Коефіцієнт використання теплоти в точці "Z" | $x_z =$      | 0,9    |                    |
| Коефіцієнт повноти індикаторної діаграми    | $x =$        | 0,98   |                    |
| Нижча теплота згорання газу                 | $Q_H =$      | 102832 | кДж/м <sup>3</sup> |

### Скраплений газ

| Склад:        |                             | в% | в об'ємних долях                |      |
|---------------|-----------------------------|----|---------------------------------|------|
| метан         | $\text{CH}_4 =$             | 0  | $R_{\text{CH}_4} =$             | 0    |
| етан          | $\text{C}_2\text{H}_6 =$    | 1  | $R_{\text{C}_2\text{H}_6} =$    | 0,01 |
| пропан        | $\text{C}_3\text{H}_8 =$    | 56 | $R_{\text{C}_3\text{H}_8} =$    | 0,56 |
| бутан         | $\text{C}_4\text{H}_{10} =$ | 43 | $R_{\text{C}_4\text{H}_{10}} =$ | 0,43 |
| 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    |

### Параметри робочого тіла.

Теоретично необхідна кількість повітря для згоряння 1 кмоль газу.

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

$$L_0 = 26,810 \text{ кмоль/кмоль}$$

Загальна кількість продуктів свіжого заряду.

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

$$M_1 = 34,512 \text{ кмоль/кмоль}$$

Кількість окремих компонентів продуктів згоряння.

$$\text{Кількість CO}_2: M_{\text{CO}_2} = CO + \sum (n C_n H_m + CO_2), \text{ кмоль}$$

$$M_{\text{CO}_2} = 3,420 \text{ кмоль}$$

$$\text{Кількість H}_2\text{O}: M_{\text{H}_2\text{O}} = H_2 + \sum (0.5m C_n H_m), \text{ кмоль}$$

$$M_{\text{H}_2\text{O}} = 4,420 \text{ кмоль}$$

$$\text{Кількість O}_2: M_{\text{O}_2} = 0.21 \times (\alpha - 1) \times L_0, \text{ кмоль}$$

$$M_{\text{O}_2} = 1,408 \text{ кмоль}$$

$$\text{Кількість N}_2: M_{\text{N}_2} = 0.79 \times \alpha \times L_0 + N_2, \text{ кмоль}$$

$$M_{\text{N}_2} = 26,474 \text{ кмоль}$$

Загальна кількість продуктів згоряння.

$$M_2 = M_{\text{CO}_2} + M_{\text{H}_2\text{O}} + M_{\text{O}_2} + M_{\text{N}_2}, \text{ кмоль/кг} \quad 35,72 \text{ кмоль}$$

Змінення об'єму при згорянні 1 кмоль газу.

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

$$\Delta M = 1,210 \text{ кмоль}$$

Теоретичний коефіцієнт молекулярної зміни.

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

$$b_0 = 1,0351$$

**Параметри процесу наповнення.**

Температура повітря .

$$T_b = T_a$$

$$T_b = 293,00 \text{ К}$$

Температура газоповітряної суміші.

$$T_{cm} = \frac{T_b + \alpha \times L_o \times T_r}{1 + \alpha \times L_o}, K$$

$$T_{cm} = 294,94 \text{ К}$$

де  $T_r = 295 \text{ К}$  - температура поступаючого газу.

Коефіцієнт залишкових газів.

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

де  $P_d = 0.95 \times P_a, \text{кПа}$

$$P_d = 95 \text{ кПа}$$

$$g_r = 0,061$$

Коефіцієнт наповнення.

$$\Phi_c = \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \times \frac{P_d}{P_a} \times \frac{T_{cm}}{T_{cm} + \Delta T + \gamma_r T_r}$$

$$\Phi_c = 0,871$$

Температура газоповітряної суміші на початку стиску.

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

$$T_d = 343,79 \text{ K}$$

### Параметри процесу стиску.

Тиск в кінці стиску.

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

$$P_c = 1821,05 \text{ кПа}$$

Температура в кінці стиску.

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

$$T_c = 775,30 \text{ K}$$

$$t_c = 502,30 \text{ } ^\circ\text{C}$$

### Параметри процесу згоряння.

Дійсний коефіцієнт молекулярної зміни.

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

$$\beta = 1,0331$$

Максимальна температура циклу знаходиться з рівняння балансу:

$$\frac{\xi \cdot 224 \cdot Q_H}{(1 + \gamma_r)(1 + \alpha \cdot L_0)} = \beta_z \cdot m C_p m_z \cdot t_z - (m C_v m_{cm} + 8.314 \lambda) t_c$$

склад продуктів згоряння в об'ємних долях:

$$R_{\text{CO}_2} = \frac{M_{\text{CO}_2}}{M_2}$$

$$R_{\text{CO}_2} = 0,10$$

$$R_{\text{CO}_2} = \frac{M_{\text{H}_2\text{O}}}{M_2}$$

$$R_{\text{H}_2\text{O}} = 0,124$$

$$R_{\text{O}_2} = \frac{M_{\text{O}_2}}{M_2}$$

$$R_{O_2} = 0,039$$

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

$$R_{N_2} = 0,741$$

Мольна теплоємність продуктів згоряння:

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

$$\text{для } O_2: mCv_{O_2} = 23,664 + 159,1 \times 10^{-5} x_{t_z}$$

$$\text{для } N_2: mCv_{N_2} = 22,374 + 134 \times 10^{-5} x_{t_z}$$

$$\text{для } CO_2: mCv_{CO_2} = 41,3405 + 242,8 \times 10^{-5} x_{t_z}$$

$$\text{для } H_2O: mCv_{H_2O} = 26,67 + 443,8 \times 10^{-5} x_{t_z}$$

Після підстановки одержимо рівняння.

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

де:

$$a = 25,930$$

$$b = 190,5351$$

теплоємність газового палива.

$$mCv_{\text{гп}} = R_{CH_4} \cdot mCv_{CH_4} + R_{C_2H_6} \cdot mCv_{C_2H_6} + R_{C_3H_8} \cdot mCv_{C_3H_8} + R_{C_4H_{10}} \cdot mCv_{C_4H_{10}} + R_{C_5H_{12}} \cdot mCv_{C_5H_{12}} + R_{CO_2} \cdot mCv_{CO_2} + R_{N_2} \cdot mCv_{N_2}$$

$$mCv_{CH_4} = 26,314 + 2600 \times 10^{-5} x_{t_c}$$

$$mCv_{C_2H_6} = 41,246 + 7964 \times 10^{-5} x_{t_c}$$

$$mCv_{C_3H_8} = 60,043 + 11382 \times 10^{-5} x_{t_c}$$

$$mCv_{C_4H_{10}} = 67 + 11920 \times 10^{-5} x_{t_c}$$

$$mCv_{C_5H_{12}} = 118,06 + 14096 \times 10^{-5} x_{t_c}$$

$$mCv_{CO_2} = 27,545 + 1386 \times 10^{-5} x_{t_c}$$

$$mCv_{N_2} = 20,637 + 255 \times 10^{-5} x_{t_c}$$

Після підстановки одержимо рівняння.

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

де:

$$a = 62,847$$

$$b = 11579,2$$

мольна теплоємність газоповітряної суміші при постійному об'ємі.

$$mC_{V_{cm}} = \frac{mC_{V_{гп}} + mC_{V_{пов}} \cdot \alpha \cdot L_0 + mC_{V_{ме}} \cdot \gamma_r (1 + \alpha \cdot L_0)}{(1 + \alpha \cdot L_0) \cdot (1 + \gamma_r)}$$

Після підстановки одержимо рівняння.

$$mC_{V_{cm}} = a + b \cdot 10^{-5} \cdot t_c$$

де:

$$a = 23,99$$

$$b = 446,07$$

де  $mC_{V_{пов}} = 22,709 + 129,8 \cdot 10^{-5} \cdot t_c$  - мольна теплоємність повітря.

середня мольна теплоємність газоповітряної суміші при постійному тиску.

$$mC_{vm_{cm}} = a_{cm} + \frac{b_{cm}}{2} \cdot 10^{-5} \cdot t_c$$

Після підстановки одержимо рівняння.

$$mC_{vm_{cm}} = a + b \cdot 10^{-5} \cdot t_c$$

де:

$$a = 23,99$$

$$b = 223,04$$

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

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

Після підстановки одержимо рівняння.

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

де:

$$a = 29,52$$

$$b = 574,87$$

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

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

$$a = 29,518$$

$$b = 287,43$$

Максимальна температура процесу згоряння.

Після підстановки одержимо квадратне рівняння.

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

де:

$$A = 296,94$$

$$B = 30,494$$

$$C = 80690,81$$

Звідки:

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

$$t_z = 2182 \text{ } ^\circ C$$

$$T_z = 2455,4 \text{ K}$$

Максимальний тиск згоряння.

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

$$P_{\max} = 5957,9 \text{ кПа}$$

Ступінь підвищення тиску

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

$$\lambda = 3,272$$

$$\Delta \lambda = 16,85$$

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

Ступінь попереднього розширення.

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

$$r = 1$$

### Параметри процесу розширення.

Ступінь подальшого розширення.

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

$$\delta = 8,5$$

Тиск в кінці розширення.

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

$$P_{\epsilon} = 393,3 \text{ кПа}$$

Температура в кінці розширення.

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

$$T_{\epsilon} = 1377,8 \text{ К}$$

Середня температура випускних газів.

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

$$T_{\text{ср.г.}} = 1080,4 \text{ К}$$

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

Температура залишкових газів.

$$T_r = \frac{T_{\epsilon}}{\sqrt{\frac{P_{\epsilon}}{P_r}}}, K$$

$$T_r = 901,0 \text{ К}$$

$$\text{Перевірка: } \frac{|T_r^3 - T_r|}{T_r^3} \times 100 \% = -9,878$$

**Індикаторні показники робочого тіла.**

Середній теоретичний індикаторний тиск.

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

$$P_{mi} = 916,9 \quad \text{кПа}$$

Індикаторний ККД.

$$\eta_i = 1.985 \frac{(1 + \alpha \cdot L_0) \Gamma_{cm} \times P_{mi}}{Q_H \times P_d \times \Phi_c \times 22.4} 4.186$$

$$\eta_i = 0,407$$

Питома індикаторна витрата газу.

$$g_i = \frac{3600}{Q_H \times \eta_i}, \text{м}^3 / \text{квт.год.}$$

$$g_i = 0,086 \quad \text{м}^3 / \text{квт год}$$

**Ефективні показники робочого циклу.**

Середній тиск механічних втрат.

$$P_M = 0.088 + 0.0118 \times V_{п.ср.}, \text{кПа}$$

Середня швидкість поршня.

$$V_{п.ср.} = \frac{S_{пр.} \times n}{30}, \text{м} / \text{с}$$

$$S_{пр.} = 0,08 \quad \text{м} - \text{хід поршня по прототипу.}$$

$$V_{п.ср.} = 16 \quad \text{м/с}$$

$$P_M = 276,8 \quad \text{кПа}$$

Середній ефективний тиск.

$$P_{me} = P_{mi} - P_m, \text{кПа}$$

$$P_{me} = 640,1 \text{ кПа}$$

Механічний К.К.Д.

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

$$\eta_M = 0,698$$

Ефективний К.К.Д.

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

$$\eta_e = 0,284$$

Питома ефективна витрата газу.

$$g_e = \frac{g_i}{\eta_m}, \text{м}^3 / \text{квт} \cdot \text{год}.$$

$$g_e = 0,123 \text{ м}^3 / \text{квт} \cdot \text{год}$$

Годинна витрата газу.

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

$$B = 5,55 \text{ м}^3 / \text{год}$$

**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.

$$V_{st} = 1,41 \text{ л}$$

Робочій об'єм циліндра.

$$V_s = \frac{V_{st}}{i}, \text{л}$$

$$V_s = 0,35 \text{ л}$$

Діаметр циліндра.

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

$$m = \frac{S_{\text{ПР}}}{d_{\text{ПР}}}$$

$$d_{\text{ПР}} = 0,076 \text{ м}$$

$$m = 1,053$$

$$d = 75,21 \text{ мм}$$

Хід поршня.

$$S = m \times d, \text{ мм}$$

$$S = 79,17 \text{ мм}$$

**Уточненні розміри циліндра і двигуна.**

Діаметр циліндра.

$$d = 76,00 \text{ мм}$$

Хід поршня.

$$S = 80,00 \text{ мм}$$

Літраж двигуна.

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

$$V_{st} = 1,45 \text{ л}$$

Робочій об'єм поршня.

$$V_s = \frac{V_{st}}{i}, \text{ л}$$

$$V_s = 0,36 \text{ л}$$

Ефективна потужність двигуна.

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

$$P_{ep} = 46,44 \quad \text{кВт}$$

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

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

$$P_{ep} = \frac{P_{ep} + P_e}{2}, \text{кВт}$$

$$P_{ep} = 45,72 \quad \text{кВт}$$

$$\Delta P_e = 3,146 \quad \%$$

Так як значення  $\Delta < 5\%$  розрахунок виконаний вірно.

## 2.3 Побудова індикаторної діаграми

### Розрахунок теоретичної індикаторної діаграми

Вихідні дані:

|                                 |                               |
|---------------------------------|-------------------------------|
| Середній індикаторний тиск      | $P_{mi} = 0,917 \text{ МПа}$  |
| Тиск в кінці впуску             | $P_d = 0,095 \text{ МПа}$     |
| Показник політропи стиску       | $n_1 = 1,38$                  |
| Ступінь стиску                  | $\varepsilon = 8,5$           |
| Максимальний тиск в циліндрі    | $P_{max} = 5,958 \text{ МПа}$ |
| Показник політропи розширення   | $n_2 = 1,27$                  |
| Ступінь попереднього розширення | $\rho = 1$                    |
| Маштаб по осі тиску             | $m_p = 0,02 \text{ МПа/мм}$   |

Розрахунок лінії стиску.

$$P_{ст} = \frac{P_d \times \varepsilon^{n_1}}{\left(\frac{V}{V_c}\right)^{n_1}}, \text{ МПа}$$

де  $V/V_c$  – змінний об'єм.

$$P_{ст_1} = \frac{0,095 \times 10^{1,38}}{1^{1,38}} = 1,82 \text{ МПа}$$

$$P_{ст_{8,5}} = \frac{0,095 \times 8,5^{1,38}}{8,5^{1,38}} = 0,095 \text{ МПа}$$

Розрахунок лінії розширення.

$$P_{роз} = \frac{P_{max} \times \rho^{n_2}}{\left(\frac{V}{V_c}\right)^{n_2}}, \text{ МПа}$$

$$P_{роз_1} = \frac{5,958 \times 1^{1,27}}{1^{1,27}} = 5,958 \text{ МПа}$$

$$P_{роз_{8,5}} = \frac{5,958 \times 1^{1,27}}{8,5^{1,27}} = 0,39 \text{ МПа}$$

Результати розрахунків зводимо в таблицю 2.1.

|      |      |          |        |      |                           |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПІННІ НУК 142.41.25.01 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                           | 36   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                           |      |

Таблиця 2.1 Результати розрахунків теоретичної індикаторної діаграми

| $V/V_c$                   | $P_{ст}, \text{МПа}$ | $P_{ст}, \text{мм}$ | $P_{роз}, \text{МПа}$ | $P_{роз}, \text{мм}$ |
|---------------------------|----------------------|---------------------|-----------------------|----------------------|
| 1                         | 1,82                 | 91,1                | 5,96                  | 297,9                |
| 2                         | 0,70                 | 35,0                | 2,47                  | 123,5                |
| 3                         | 0,40                 | 20,0                | 1,48                  | 73,8                 |
| 4                         | 0,27                 | 13,4                | 1,02                  | 51,2                 |
| 5                         | 0,20                 | 9,9                 | 0,77                  | 38,6                 |
| 6                         | 0,15                 | 7,7                 | 0,61                  | 30,6                 |
| 7                         | 0,12                 | 6,2                 | 0,50                  | 25,2                 |
| 8                         | 0,10                 | 5,2                 | 0,42                  | 21,2                 |
| 9                         | 0,10                 | 4,8                 | 0,39                  | 19,7                 |
| $P_{mi}^{\Delta} = 0,865$ |                      |                     |                       |                      |

Об'єм камери згорання

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

де  $V_s = [AB] = 150 \text{ мм}$  – приведений робочий об'єм

$$V_c = \frac{150}{8,5-1} = 20 \text{ мм}$$

Похибка середнього індикаторного тиску.

$$\Delta P_{mi} = \frac{|P_{mi} - P_{mi}^{\Delta}|}{P_{mi_{cp}}} \times 100\%$$

$$P_{mi_{cp}} = \frac{P_{mi} + P_{mi}^{\Delta}}{2}, \text{МПа}$$

$$P_{mi_{cp}} = \frac{0,917 + 0,865}{2} = 0,891 \text{ МПа}$$

$$\Delta P_{mi} = \frac{|0,917 - 0,865|}{0,891} \times 100\% = 2,91\%$$

Похибка не перевищує 5%

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПІНІ НУК 142.41.25.01 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          | 37   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

## Розрахунок дійсної індикаторної діаграми

Кут випередження.

$$\alpha' = 20^\circ$$

Кут затримки згоряння

$$\Delta\phi_1 = 20^\circ$$

$\alpha''$  – точка тиску газів в ВМТ в кінці такту стиску.

$$P_{c''} = 1,2 \times P_c = 1,2 \times 1,821 = 2,185 \text{ МПа}$$

$$P_{c''} = 109,2 \text{ мм}$$

Максимальний тиск газів.

$$P_{zd} = 0,85 \times P_{\max} = 0,85 \times 5,958 = 5,064 \text{ МПа}$$

$$P_{zd} = 253,2 \text{ мм}$$

Кут після ВМТ де тиск максимальний

$$\Delta\phi_2 = 10^\circ$$

Точка відкриття випускного клапану

$$\alpha' = 130^\circ$$

Точка тиску газів в НМТ в кінці такту розширення –  $\alpha''$ , відкладається посередині лінії між точками  $\alpha$  і  $d$

Точка відкриття впускного клапану

$$\alpha' = 10^\circ$$

Точка закриття випускного клапану

$$\alpha'' = 33^\circ$$

Точка закриття впускного клапану

$$\alpha' = 150^\circ$$

Швидкість наростання тиску

$$\frac{\Delta P}{\Delta\phi_2} = \frac{P_{\max} - P_{c''}}{\Delta\phi_2}, \text{ МПа/град}$$

$$\frac{\Delta P}{\Delta\phi_2} = \frac{5,958 - 2,185}{10} = 0,377 \text{ МПа/град}$$

Таблиця 2.2 Визначення точок дійсної індикаторної діаграми

|      |      |          |        |      |                           |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПІННІ НУК 142.41.25.01 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                           | 38   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                           |      |

| Позначки точки $\varphi^\circ$ ПКВ | Положення точки відносно ВМТ, $\varphi^\circ$ ПКВ | Постійна $X = (1 - \cos\varphi) + \frac{\lambda_L}{4} \times (1 - \cos 2\varphi)$ | Відстань від ВМТ до $X \times \frac{[AB]}{2}$ , мм |
|------------------------------------|---------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| С', до ВМТ                         | 10                                                | 0,019                                                                             | 1,5                                                |
| f, до ВМТ                          | 5                                                 | 0,005                                                                             | 0,4                                                |
| $\Delta\varphi_2$ , після ВМТ      | 10                                                | 0,019                                                                             | 1,5                                                |
| $\varphi'$ , після ВМТ             | 130                                               | 1,726                                                                             | 129,5                                              |
| $r'$ , до ВМТ                      | 10                                                | 0,019                                                                             | 1,5                                                |
| $r''$ , після ВМТ                  | 33                                                | 0,204                                                                             | 15,3                                               |
| $d'$ , до ВМТ                      | 150                                               | 1,902                                                                             | 142,6                                              |

Побудова розгорнутої індикаторної діаграми

Радіус кривошипа

$$R = \frac{S}{2} = \frac{80}{2} = 40 \text{ мм}$$

Знаходимо поправку Брікса

$$OO' = \frac{R \times \lambda_L}{2}$$

$$OO' = \frac{40 \times 0,285}{2} = 6$$

Розраховуємо масштаб

$$M_s = \frac{S}{AB}$$

$$M_s = \frac{80}{150} = 0,53$$

Знаходимо поправку Брікса в масштабі переміщення

$$OO' = \frac{OO'}{M_s}, \text{ мм}$$

$$OO' = \frac{6}{0,53} = 10,7 \text{ мм}$$

## 2.4 Динамічний розрахунок двигуна

Маса деталей, що рухаються зворотно-поступально.

$$m_s = m_{\text{пк}} + \frac{1}{3} \times m_{\text{ш}}, \text{ кг}$$

де  $m_{\text{пк}} = 0,35$  – маса поршневого комплекту, кг

$m_{\text{ш}} = 0,72$  – маса шатуна, кг

$$m_s = 0,35 + \frac{1}{3} \times 0,72 = 0,59 \text{ кг}$$

Маса деталей, що рухаються обертально.

$$m_R = \frac{2}{3} \times m_{\text{ш}}, \text{ кг}$$

$$m_R = \frac{2}{3} \times 0,72 = 0,48 \text{ кг}$$

Кутова швидкість

$$\omega = \frac{\pi \times n}{30}$$

$$\omega = \frac{3,14 \times 600}{30} = 628 \text{ c}^{-1}$$

Сила тиску газу

$$F_r = P_{\text{ц}} \times \frac{\pi \times d^2}{4}, \text{ кН}$$

Сила інерції мас, що рухаються зворотно-поступально

$$F_i = -m_s \times r \times \omega^2 \times (\cos \varphi + \lambda_L \times \cos 2 \times \varphi), \text{ кН}$$

Дійсна сила

$$F_d = F_r \pm F_i, \text{ кН}$$

Нормальна сила

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

Радіальна сила

$$F_r = F_d \times \frac{\cos(\varphi + \beta)}{\cos \beta}, \text{ кН}$$

|      |      |          |        |      |                           |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПІННІ НУК 142.41.25.01 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                           | 40   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                           |      |

Дотична сила

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

Сила інерції обертаючихся мас

$$F_{\text{іоб}} = -m_R \times r \times \varpi^2, \text{кН}$$

$$F_{\text{іоб}} = -0,448 \times 0,04 \times 628^2 = -7,6 \text{ кН}$$

Дані розрахунків заносимо до таблиці 2.3 та будуємо графіки.

|      |      |          |        |      |                           |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПІННІ НУК 142.41.25.01 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                           | 41   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                           |      |

Таблиця 2.3 Результати динамічного розрахунку

| $\varphi$<br>ПКВ | R <sub>ц</sub> ,<br>мм | F <sub>Г</sub> , кН | F <sub>i</sub> , кН | F <sub>d</sub> , кН | F <sub>N</sub> , кН | F <sub>r</sub> , кН | F <sub>k</sub> , кН | F <sub>Г</sub> ,мм | F <sub>i</sub> ,мм | F <sub>d</sub> ,мм | F <sub>N</sub> ,мм | F <sub>r</sub> ,мм | F <sub>k</sub> ,мм | $\beta$ |
|------------------|------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------|
| 0                | 4,80                   | 2400                | 10,88               | -11,63              | -0,75               | 0                   | -0,75               | 0                  | -0,75              | 0                  | 0                  | 4,80               | 2400               | 10,88   |
| 15               | 4,80                   | 2400                | 10,88               | -11,01              | -0,12               | 3,71                | -0,12               | -0,01              | -0,12              | -0,04              | 15                 | 4,80               | 2400               | 10,88   |
| 30               | 4,80                   | 2400                | 10,88               | -9,22               | 1,66                | 7,18                | 1,67                | 0,21               | 1,33               | 1,01               | 30                 | 4,80               | 2400               | 10,88   |
| 45               | 4,80                   | 2400                | 10,88               | -6,58               | 4,30                | 10,18               | 4,37                | 0,77               | 2,49               | 3,59               | 45                 | 4,80               | 2400               | 10,88   |
| 60               | 4,80                   | 2400                | 10,88               | -3,49               | 7,39                | 12,50               | 7,57                | 1,64               | 2,28               | 7,22               | 60                 | 4,80               | 2400               | 10,88   |
| 75               | 4,80                   | 2400                | 10,88               | -0,39               | 10,49               | 13,97               | 10,81               | 2,61               | 0,19               | 10,81              | 75                 | 4,80               | 2400               | 10,88   |
| 90               | 4,80                   | 2400                | 10,88               | 2,33                | 13,21               | 14,48               | 13,64               | 3,41               | -3,41              | 13,21              | 90                 | 4,80               | 2400               | 10,88   |
| 105              | 4,80                   | 2400                | 10,88               | 4,42                | 15,31               | 13,97               | 15,77               | 3,81               | -7,64              | 13,80              | 105                | 4,80               | 2400               | 10,88   |
| 120              | 4,80                   | 2400                | 10,88               | 5,82                | 16,70               | 12,50               | 17,10               | 3,70               | -11,56             | 12,61              | 120                | 4,80               | 2400               | 10,88   |
| 135              | 4,80                   | 2400                | 10,88               | 6,58                | 17,46               | 10,18               | 17,74               | 3,14               | -14,57             | 10,13              | 135                | 4,80               | 2400               | 10,88   |
| 150              | 4,80                   | 2400                | 10,88               | 6,90                | 17,78               | 7,18                | 17,92               | 2,24               | -16,52             | 6,95               | 150                | 4,80               | 2400               | 10,88   |
| 165              | 4,80                   | 2400                | 10,88               | 6,98                | 17,86               | 3,71                | 17,89               | 1,16               | -17,55             | 3,50               | 165                | 4,80               | 2400               | 10,88   |
| 180              | 4,80                   | 2400                | 10,88               | 6,98                | 17,86               | 0                   | 17,86               | 0                  | -17,86             | 0                  | 180                | 4,80               | 2400               | 10,88   |
| 195              | 4,8                    | 2400                | 10,88               | 6,98                | 17,86               | -3,71               | 17,89               | -1,16              | -17,55             | -3,50              | 195                | 4,8                | 2400               | 10,88   |
| 210              | 5,1                    | 2550                | 11,56               | 6,90                | 18,46               | -7,18               | 18,61               | -2,33              | -17,15             | -7,22              | 210                | 5,1                | 2550               | 11,56   |
| 225              | 5,5                    | 2750                | 12,47               | 6,58                | 19,05               | -10,18              | 19,36               | -3,42              | -15,89             | -11,05             | 225                | 5,5                | 2750               | 12,47   |
| 240              | 6,2                    | 3100                | 14,06               | 5,82                | 19,87               | -12,50              | 20,36               | -4,41              | -13,75             | -15,01             | 240                | 6,2                | 3100               | 14,06   |
| 255              | 7,3                    | 3650                | 16,55               | 4,42                | 20,97               | -13,97              | 21,61               | -5,22              | -10,47             | -18,91             | 255                | 7,3                | 3650               | 16,55   |

Продовження таблиці 2.3

| $\varphi$<br>ПКВ | R <sub>ц</sub> ,<br>мм | F <sub>Г</sub> , кН | F <sub>і</sub> , кН | F <sub>д</sub> , кН | F <sub>N</sub> , кН | Fr, кН | F <sub>k</sub> , кН | F <sub>Г</sub> ,мм | F <sub>і</sub> ,мм | F <sub>д</sub> ,мм | F <sub>N</sub> ,мм | Fr,мм | F <sub>k</sub> ,мм | $\beta$ |
|------------------|------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------|--------------------|---------|
| 270              | 9,2                    | 4600                | 20,86               | 2,33                | 23,18               | -14,48 | 23,94               | -5,99              | -5,99              | -23,18             | 270                | 9,2   | 4600               | 20,86   |
| 285              | 12,0                   | 6000                | 27,20               | -0,39               | 26,81               | -13,97 | 27,63               | -6,67              | 0,49               | -27,62             | 285                | 12,0  | 6000               | 27,20   |
| 300              | 17,2                   | 8600                | 38,99               | -3,49               | 35,50               | -12,50 | 36,37               | -7,87              | 10,93              | -34,68             | 300                | 17,2  | 8600               | 38,99   |
| 315              | 27,4                   | 13700               | 62,12               | -6,58               | 55,54               | -10,18 | 56,43               | -9,97              | 32,22              | -46,32             | 315                | 27,4  | 13700              | 62,12   |
| 330              | 47,2                   | 23600               | 107,01              | -9,22               | 97,78               | -7,18  | 98,56               | -12,32             | 78,52              | -59,56             | 330                | 47,2  | 23600              | 107,01  |
| 345              | 75,6                   | 37800               | 171,39              | -11,01              | 160,39              | -3,71  | 160,72              | -10,40             | 152,23             | -51,56             | 345                | 75,6  | 37800              | 171,39  |
| 360              | 91,1                   | 45550               | 206,53              | -11,63              | 194,90              | 0      | 194,90              | 0                  | 194,90             | 0                  | 360                | 91,1  | 45550              | 206,53  |
| 375              | 267,0                  | 133500              | 605,31              | -11,01              | 594,30              | 3,71   | 595,55              | 38,54              | 564,08             | 191,04             | 375                | 267,0 | 133500             | 605,31  |
| 390              | 168,6                  | 84300               | 382,23              | -9,22               | 373,01              | 7,18   | 375,95              | 46,99              | 299,54             | 227,20             | 390                | 168,6 | 84300              | 382,23  |
| 405              | 98,5                   | 49250               | 223,31              | -6,58               | 216,73              | 10,18  | 220,19              | 38,93              | 125,72             | 180,77             | 405                | 98,5  | 49250              | 223,31  |
| 420              | 65,4                   | 32700               | 148,27              | -3,49               | 144,78              | 12,50  | 148,29              | 32,11              | 44,58              | 141,43             | 420                | 65,4  | 32700              | 148,27  |
| 435              | 46,6                   | 23300               | 105,65              | -0,39               | 105,25              | 13,97  | 108,46              | 26,19              | 1,94               | 108,44             | 435                | 46,6  | 23300              | 105,65  |
| 450              | 35,8                   | 17900               | 81,16               | 2,33                | 83,49               | 14,48  | 86,23               | 21,56              | -21,56             | 83,49              | 450                | 35,8  | 17900              | 81,16   |
| 465              | 29,2                   | 14600               | 66,20               | 4,42                | 70,62               | 13,97  | 72,78               | 17,57              | -35,25             | 63,67              | 465                | 29,2  | 14600              | 66,20   |
| 480              | 24,8                   | 12400               | 56,22               | 5,82                | 62,04               | 12,50  | 63,55               | 13,76              | -42,94             | 46,85              | 480                | 24,8  | 12400              | 56,22   |
| 495              | 22,3                   | 11150               | 50,56               | 6,58                | 57,14               | 10,18  | 58,05               | 10,26              | -47,66             | 33,15              | 495                | 22,3  | 11150              | 50,56   |
| 510              | 19,8                   | 9900                | 44,89               | 6,90                | 51,79               | 7,18   | 52,19               | 6,52               | -48,11             | 20,24              | 510                | 19,8  | 9900               | 44,89   |
| 525              | 12,3                   | 6150                | 27,89               | 6,98                | 34,86               | 3,71   | 34,93               | 2,26               | -34,26             | 6,84               | 525                | 12,3  | 6150               | 27,89   |

Продовження таблиці 2.3

| $\varphi$<br>ПКВ | R <sub>ц</sub> ,<br>мм | F <sub>Г</sub> , кН | F <sub>i</sub> , кН | F <sub>d</sub> , кН | F <sub>N</sub> , кН | F <sub>r</sub> , кН | F <sub>k</sub> , кН | F <sub>Г</sub> ,мм | F <sub>i</sub> ,мм | F <sub>d</sub> ,мм | F <sub>N</sub> ,мм | F <sub>r</sub> ,мм | F <sub>k</sub> ,мм | $\beta$ |
|------------------|------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------|
| 540              | 10,8                   | 5400                | 24,48               | 6,98                | 31,47               | 0                   | 31,47               | 0                  | -31,47             | 0                  | 540                | 10,8               | 5400               | 24,48   |
| 555              | 8,3                    | 4150                | 18,82               | 6,98                | 25,79               | -3,71               | 25,85               | -1,67              | -25,35             | -5,06              | 555                | 8,3                | 4150               | 18,82   |
| 570              | 5,9                    | 2950                | 13,38               | 6,90                | 20,27               | -7,18               | 20,43               | -2,55              | -18,83             | -7,92              | 570                | 5,9                | 2950               | 13,38   |
| 585              | 4,8                    | 2400,00             | 10,88               | 6,58                | 17,46               | -10,18              | 17,74               | -3,14              | -14,57             | -10,13             | 585                | 4,8                | 2400,00            | 10,88   |
| 600              | 4,8                    | 2400,00             | 10,88               | 5,82                | 16,70               | -12,50              | 17,10               | -3,70              | -11,56             | -12,61             | 600                | 4,8                | 2400,00            | 10,88   |
| 615              | 4,8                    | 2400,00             | 10,88               | 4,42                | 15,31               | -13,97              | 15,77               | -3,81              | -7,64              | -13,80             | 615                | 4,8                | 2400,00            | 10,88   |
| 630              | 4,8                    | 2400,00             | 10,88               | 2,33                | 13,21               | -14,48              | 13,64               | -3,41              | -3,41              | -13,21             | 630                | 4,8                | 2400,00            | 10,88   |
| 645              | 4,8                    | 2400,00             | 10,88               | -0,39               | 10,49               | -13,97              | 10,81               | -2,61              | 0,19               | -10,81             | 645                | 4,8                | 2400,00            | 10,88   |
| 660              | 4,8                    | 2400,00             | 10,88               | -3,49               | 7,39                | -12,50              | 7,57                | -1,64              | 2,28               | -7,22              | 660                | 4,8                | 2400,00            | 10,88   |
| 675              | 4,8                    | 2400,00             | 10,88               | -6,58               | 4,30                | -10,18              | 4,37                | -0,77              | 2,49               | -3,59              | 675                | 4,8                | 2400,00            | 10,88   |
| 690              | 4,8                    | 2400,00             | 10,88               | -9,22               | 1,66                | -7,18               | 1,67                | -0,21              | 1,33               | -1,01              | 690                | 4,8                | 2400,00            | 10,88   |
| 705              | 4,8                    | 2400,00             | 10,88               | -11,01              | -0,12               | -3,71               | -0,12               | 0,01               | -0,12              | 0,04               | 705                | 4,8                | 2400,00            | 10,88   |
| 720              | 4,8                    | 2400,00             | 10,88               | -11,63              | -0,75               | 0                   | -0,75               | 0                  | -0,75              | 0                  | 720                | 4,8                | 2400,00            | 10,88   |

## 2.5. Розрахунок теплового балансу газового двигуна.

Умова завдання:

|                                       |                      |        |                     |
|---------------------------------------|----------------------|--------|---------------------|
| ефективна потужність:                 | $P_e =$              | 46,4   | кВт                 |
| частота обертання колінвалу:          | $n =$                | 6000   | $\text{хв}^{-1}$    |
| діаметр циліндру:                     | $d =$                | 76     | мм                  |
| хід поршня:                           | $S =$                | 80     | мм                  |
| число циліндрів:                      | $i =$                | 4      |                     |
| коефіцієнт тактності:                 | $Z =$                | 4      |                     |
| нижча теплота згорання газу:          | $Q_H =$              | 102832 | кДж/м <sup>3</sup>  |
| годинна витрата газу:                 | $B_r =$              | 5,55   | м <sup>3</sup> /год |
| Індикаторний к.к.д.:                  | $\eta_i =$           | 0,407  |                     |
| ефективний к.к.д.:                    | $\eta_e =$           | 0,284  |                     |
| кількість свіжого заряду              | $M_1 =$              | 34,51  | кмоль/кг            |
| загальна кількість продуктів згорання | $M_r =$              | 35,72  | кмоль/кг            |
| температура випускних газів           | $T_{\text{ср.г.}} =$ | 1080   | К                   |
| температура на початку стиску         | $T_d =$              | 344    | К                   |

мольна теплоємність продуктів згорання

при постійному об'ємі:  $mC''_v = 347,157$  кДж/кмоль К

мольна теплоємність свіжого заряду

при постійному об'ємі:  $mC'_v = 29,466$  кДж/кмоль К

середній індикаторний тиск:

$P_{mi} = 916,915$  кПа

Рівняння теплового балансу.

Загальна кількість теплоти, введеної в двигун з паливом

$$Q_{\Pi} = Q_e + Q_B + Q_G + Q_M + Q_{н.в}$$

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

Теплота, яка підводиться в циліндр двигуна з паливом:

$$Q_{\Pi} = B \cdot Q_H / 3.6$$

$$Q_{\Pi} = 158408,4 \text{ Дж/с}$$

у відсотковому відношенні  $q_n$  приймаємо за 100%

Теплота, еквівалентна ефективній роботі двигуна:

$$Q_e = 1000 \cdot P_e$$

$$Q_e = 46438,1 \text{ Дж/с}$$

у відсотковому відношенні

$$q = Q_e / Q_n \cdot 100 \%$$

$$q = 29,32 \%$$

Перевірка:  $Q'_e = Q_n \cdot \eta_e$

$$Q'_e = 45000 \text{ Дж/с}$$

Виравовуємо похибку

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

$$\Delta = 3,10 \%$$

похибка не перевищує 1%

Теплота, яка відводиться охолоджувальною рідиною:

$$Q_g = Q_w + Q_{T.P.} + Q_{в.н.}$$

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

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

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

Теплообмін між робочим тілом і стінками циліндра.

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

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

З експериментальних даних:

$$W_{нап.} = 0 \qquad W_{г.р.} = 0,09-0,16 \qquad 0,25$$

$$W_{ст.} = 0 \qquad W_{вип} = 0,01-0,05 \qquad 0,12$$

$$Q_w = 58611,09 \text{ Дж/с}$$

Теплота, еквівалентна роботі на тертя поршня по гільзі циліндра.

Середній тиск механічних втрат в механізмах двигуна.

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

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

$$C_m = S \cdot n / 30 \quad \begin{array}{l} \text{тиску механічних втрат} \\ \text{середня швидкість поршня} \end{array}$$
$$C_m = 16 \quad \text{м/с}$$
$$P_{\text{мд}} = 276,8 \quad \text{кПа}$$

Середній тиск тертя поршня:

$$P_{\text{ср.т.}} = 0.6 \cdot P_{\text{мд}}$$

$$P_{\text{ср.т.}} = 166,08 \quad \text{кПа}$$

Потужність тертя поршня:

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

де  $V_s$  - Робочій об'єм циліндру.

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

$$V_s = 0,00036 \quad \text{м}^3$$

$$P_n = 12,05 \quad \text{кВт}$$

Теплота, еквівалентна роботі тертя поршня:

$$Q_{\text{т.п.}} = 1000 \cdot P_n$$

$$Q_{\text{т.п.}} = 12048,5 \quad \text{Дж/с}$$

Теплота, еквівалентна роботі на привід водяного насосу:

Визначаємо витрату води як суму теплоти:

$$Q'_B = Q_W + Q_{\text{т.п.}}$$

$$Q'_B = 70659,6 \quad \text{Дж/с}$$

тоді витрата охолоджуючої рідини:

$$V_B = \frac{Q'_B \cdot 10^{-3} \cdot K}{\rho_v \cdot C_{mv} \cdot \Delta T_v}$$

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

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

$C_{\text{мв}}=4,19 \text{ кДж/кг}$  - середня теплоємність води.

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

$\Delta T_{\text{в}} = 10 \text{ К}$

$V_{\text{в}}= 0,0025 \text{ м}^3/\text{с}$

Потужність, яка використовується на привід водяного насосу.

$$P_{\text{в.н.}} = V_{\text{в}} \cdot \Delta P_{\text{с}} / \eta_{\text{в.н.}}$$

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

$\eta_{\text{в.н.}} = 0,8 - 0,9$  к.к.д. водяного насосу.

$\eta_{\text{в.н.}} = 0,9$

$P_{\text{в.н.}} = 0,275 \text{ кВт}$

Тоді  $Q_{\text{в.н.}} = 275,4 \text{ Дж/с}$

Загальна теплота, яка відводиться охолоджувальною рідиною.

$$Q_{\text{с}} = Q_{\text{в}} + Q_{\text{Г.П}} + Q_{\text{в.н.}}$$

$Q_{\text{с}} = 70935,1 \text{ Дж/с}$

що складає у відсотковому відношенні:

$$q_{\text{с}} = Q_{\text{с}} / Q_{\text{П}} \cdot 100\%$$

$q_{\text{с}} = 44,78 \%$

Теплота, яка виноситься випускними газами:

$$Q_{\text{Г}} = \frac{B_r}{3.6 \times 224} \left[ M_2 \cdot (mC_p'')_{T_0}^{T_{\text{срз}}} \cdot T_{\text{срз}} - M_1 \cdot (mC_p')_{T_0}^{T_d} \cdot T_d \right]$$

$mC_p'' = 8,314 + mC''_{\text{в}}$  Ізобарна теплоємність продуктів згорання

$mC_p' = 8,314 + mC'_{\text{в}}$  Ізобарна теплоємність свіжого заряду.

$mC_p'' = 355,47 \text{ кДж/кмоль К}$

$mC_p' = 37,78 \text{ кДж/кмоль К}$

$$Q_{\Gamma} = 24256 \text{ Дж/с}$$

Що складає у відсотковому відношенні:

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

$$q_{\Gamma} = 15,31 \%$$

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

Теплота, яка відводиться маслом, від гарячих деталей двигуна.

$$Q_M = (Q_w + Q_{MD}) - Q_{\varepsilon}$$

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

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

$$\Delta_{MD} = 0,123$$

тоді

$$Q_{MD} = 19459,0 \text{ Дж/с}$$

$$Q_{M1} = 7135,0 \text{ Дж/с}$$

Теплота, еквівалентна роботі на привід насоса системи мащення.

Витрата циркуляційного масла.

$$V_M = \frac{\kappa \cdot Q_{M1}}{\rho_M \cdot C_{tm} \cdot \Delta}$$

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

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

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

$DT_M = 6-15 \text{ К}$  Температурний перепад масла в охолоджувачі двигуна

$$DT_M = 10 \text{ К}$$

$$V_M = 0,0005 \text{ м}^3/\text{с}$$

потужність, яка використовується на привід масляного насоса:

$$P_{M.H.} = \frac{V_M \cdot P_0}{\eta \cdot 10^3}$$

де  $P_0 = (0,3 - 0,4)10^6$  - робочий тиск масла в системі.

$$P_0 = 300000 \text{ Па}$$

$\eta_M = 0,8 - 0,9$  механічний к.к.д. масляного насоса.

$$\eta_M = 0,9$$

$$P_{M.H.} = 0,151 \text{ кВт}$$

тоді  $Q_{H2} = 1000 \cdot P_{MH}$

$$Q_{M2} = 151,44 \text{ Дж/с}$$

Загальна кількість теплоти складає:

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

$$Q_M = 7286,5 \text{ Дж/с}$$

у відсотковому відношенні

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

$$q_M = 4,60 \%$$

Невраховані теплові втрати

$$Q_{HB} = Q_{\Pi} - (Q_e + Q_b + Q_r + Q_M)$$

$$Q_{H.B.} = 9492,7 \text{ Дж/с}$$

що складає у відсотковому відношенні:

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

$$q_{H.B.} = 5,99 \%$$

Всі отримані дані зведені в таблицю

Таблиця 2.2

Зведена таблиця теплового балансу.

| Складові теплового балансу                              | Дж/сек   | %     |
|---------------------------------------------------------|----------|-------|
| теплота, еквівалентна ефективній роботі                 | 46438,1  | 29,32 |
| теплота, яка відводиться охолоджувальною рідиною        | 70935,1  | 44,78 |
| теплота, яка виноситься випускними газами               | 24256,0  | 15,31 |
| теплота, яка відводиться маслом                         | 7286,5   | 4,60  |
| невраховані теплові втрати                              | 9492,7   | 5,99  |
| Загальна кількість теплоти, введеної в двигун з паливом | 158408,4 | 100   |

## 3 РОЗРОБКА СИСТЕМИ ПОДАЧІ ГАЗУ

### 3.1 Класифікація та опис сучасних систем подачі газу

Одним із ефективних методів зменшення токсичності викидів є використання газоподібного палива для автомобільних двигунів. Теоретично, при оптимальному процесі згоряння газове паливо генерує значно меншу кількість шкідливих речовин порівняно з традиційними видами палива, такими як бензин або дизельне пальне.

Проте на практиці, через недосконалість багатьох існуючих газових систем, досягнути оптимального складу газоповітряної суміші досить складно. Як наслідок — замість очікуваного зниження токсичності, відбувається збільшення концентрації шкідливих речовин у вихлопних газах.

На сьогоднішній день окремі виробники, у співпраці з науково-виробничими підприємствами, активно працюють над розробкою сучасних систем живлення двигунів внутрішнього згоряння на основі компримованого природного газу (КПГ). Водночас, ринок газових двигунів зростає досить повільно, а більшість експлуатованих систем подачі газу не відповідають сучасним екологічним стандартам і не забезпечують необхідний рівень зниження токсичності вихлопів.

#### Класифікація газових систем

Все представлене на ринку різноманіття газобалонних систем для автотранспорту, що працює на компримованому природному газі, можна розділити на декілька класів:

##### а) за способом сумішоутворення:

- традиційні ежекторні системи із зовнішнім сумішоутворенням, де регулятори кількості газового палива, що поступає в двигун, виконані на важільно-мембранних механізмах з окремим змішувачем “газ-повітря”;
- інжекторні системи з центральним або розподіленим поциліндровим уприскуванням газового палива.

##### б) за способом запалення газового палива:

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 142.41.25.01 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          | 52   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

- системи з електроіскровою системою запалення;
- газодизельні системи.

Розглянемо докладніше кожен з представлених класів газобалонних систем.

Клас важільномембранних систем із зовнішнім сумішоутворенням представлений на вітчизняному ринку фірмами Італії (“Ловато”, “Ланді Ренцо”, “Тартаріні”), Росії (“САГА”, “Автосистема”, “РЗАА”). По термінології бензинових двигунів ці системи виконані за принципом карбюратора, де газ і повітря змішуються в спеціальному пристрої (змішувачі), а суміш всмоктується у впускний трубопровід за рахунок створюваного розрідження. Західні фірми декілька ускладнюють традиційні механічні системи, вводячи в них різні удосконалення. Наприклад, використовують:

- регулювання кількості газу, що подається, не тільки по розрідженню у впускному колекторі, але і по лямбдазонду, сигнал з якого обробляється електронним блоком (для підтримки параметрів токсичності в заданих межах), а також по зміні температури двигуна, повітря і газу;
- підтримка стабільних обертів холостого ходу регулюванням подачі повітря або палива за допомогою додаткових шибєрних або лопатєвих пристроїв з електроприводом (у електронний блок управління поступає інформація про частоту обертання колінчастого валу двигуна);
- запобігання руйнуванню двигуна під час зворотного спалаху шляхом введення в систему запобіжного клапана.

Запровадження електронного керування в традиційні механічні газові системи, хоча й не усунуло їх основних недоліків — таких як нерівномірне дозування палива по циліндрах, висока інерційність газового потоку, низька надійність механічних регуляторів тиску та підвищений рівень незгорілих вуглеводнів — усе ж суттєво підвищило стабільність їх роботи. Завдяки цьому, при збереженні невисокої вартості, такі системи залишаються привабливими для користувачів. Особливо це актуально в умовах, коли фактичний контроль за рівнем шкідливих викидів в експлуатації, як правило, не здійснюється.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 142.41.25.01 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          | 53   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

Однак ретельні випробування демонструють, що за рівнем токсичності вихлопів навіть удосконалені механічні системи з електронним керуванням значно поступаються сучасним бензиновим двигунам з інжекторною подачею палива. Окрему загрозу становить встановлення ежекторних газових систем на бензинові двигуни з інжекторною системою упорскування — це може призвести до зворотного спалаху газу у впускному колекторі, що часто спричиняє пошкодження двигуна. Застосування захисних пристроїв, таких як антихлопіни, лише частково пом'якшує наслідки, але не вирішує проблему повністю.

Інжекторні системи з центральним упорскуванням газу, обладнані мікропроцесорними блоками управління, займають проміжне місце між традиційними ежекторними системами та сучасними розподіленими інжекторними установками. Вони мають низку суттєвих переваг, зокрема:

- стабільне дозування газу незалежно від зовнішніх умов (ступені засміченості повітряного фільтру, зменшення щільності газу при підвищенні температури);
- мінімальні доопрацювання агрегатів двигуна при установці газової системи (в порівнянні з розподіленою інжекторною);
- високі енергетичні показники, стабільність параметрів в часі;
- можливість корекції складу газоповітряної суміші по лямбдазонду (при роботі з 3-х компонентним нейтралізатором);

До недоліків можна віднести:

- значну інерційність системи за рахунок великих паразитних об'ємів впускного ресивера;
- неможливість дозування паливної суміші індивідуально для кожного циліндра;
- викид незгорілого метану у випускну систему за рахунок значного перекриття впускних і випускних клапанів сучасних двигунів (зниження економічності і збільшення викидів вуглеводнів CH).

### 3.2 Описання інжекторної системи з розподіленим упорскуванням газу

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 142.41.25.01 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          | 54   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

Інжекторні системи з розподіленим уприскуванням є сьогодні найбільш перспективним напрямом в створенні систем управління подачею газу в циліндри двигуна внутрішнього згорання. Вони дозволяють отримати найдосконаліші робочі характеристики двигуна. Всі інжекторні системи оснащені могутніми мікропроцесорними блоками управління, що забезпечують:

- дозовану подачу газу індивідуально в кожен циліндр, що дозволяє добитися ідеального згорання газоповітряної суміші (деякі фірми встановлюють лямбда-зонд на кожен циліндр і ще один – після нейтралізатора);

- мінімальна витрата газу – уприскування газу в кожен циліндр проводиться тільки в циклі всмоктування індивідуально; відсутній ефект "протягу" (перетікання газу з випускної труби у вихлопну систему за рахунок перекриття клапанів як в системах із зовнішнім сумішоутворенням);

- максимальну динаміку двигуна, оскільки практично зведена до мінімуму інерційність системи (мінімум паразитних об'ємів).

У цій системі подача газу здійснюється через форсунки, розміщені безпосередньо біля впускних клапанів. Це суттєво відрізняє її від систем першого та другого покоління, де газ попередньо змішувався з повітрям у змішувачі, розташованому в повітряному тракті. Такий підхід дозволяє майже повністю усунути ризик утворення вибухонебезпечної газоповітряної суміші у впускному колекторі та дросельному вузлі — явища, яке в старіших системах часто ставало причиною зворотних спалахів у разі несправності системи запалювання.

Система з розподіленим уприскуванням газу має суттєві переваги перед попередніми типами: вона забезпечує кращі динамічні характеристики роботи двигуна та сприяє зниженню витрати газу. Газове паливо впорскується у двигун у вже випаруваному стані, що позитивно впливає на ефективність його згорання.

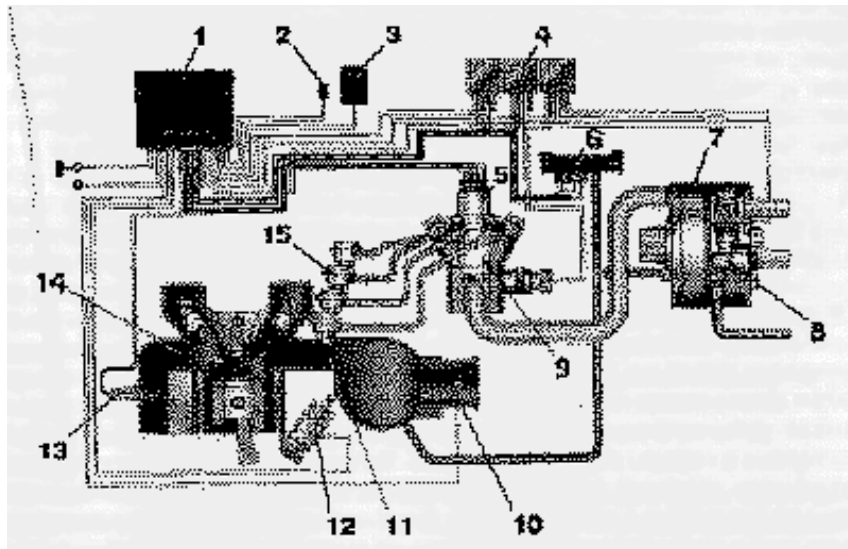
Основні переваги такої системи:

- викид шкідливих речовин не перевищує допустимого рівня токсичності відпрацьованих газів по нормах ЄВРО-3;
- відсутність ефекту хлопка;

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 142.41.25.01 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          | 55   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

- точне дозування газу;
- висока надійність і економічність.

Блок-розподільник газу 9, оснащений дозатором 5 з кроковим електродвигуном, управляється ЕБУ і забезпечує подачу газу у впускну трубу двигуна через форсунки, встановлені безпосередньо біля впускних клапанів. Для підтримки стехіометричного складу газоповітряної суміші (16:1) по сигналах ЕБУ кроковий електродвигун дозатора відповідним чином змінює прохідний перетин його клапана.



Датчик абсолютного тиску 6 у впускній трубі надає ЕБУ одну з складових інформації про витрату повітря і служить для регулювання блоком кута випередження запалення по характеристиці навантаження.

Рис.3.1 Схема системи подачі газу

Датчик встановлений в моторному відсіку і сполучений з впускною трубою гумовою трубою. Він є вакуумною камерою, одна із стінок якої виконана у вигляді пружної мембрани. Мембрана кінематично пов'язана з п'єзоелементом, що виробляє електричний потенціал при механічній дії. Вихідна напруга датчика змінюється залежно від тиску у впускній трубі від 4,9 В (при повністю відкритій дросельній заслінці) до 0,3 В (при закритій заслінці). При непрацюючому двигуні ЕБУ по напрузі датчика визначає атмосферний тиск і адаптує параметри регулювання уприскування до конкретної висоти над рівнем моря. Значення атмосферного тиску, що зберігаються в пам'яті, періодично оновлюються при рівномірній роботі двигуна і під час повного відкриття дросельної заслінки.

Редуктор-випарник 7 призначений для зниження тиску газу до необхідного значення і для перетворення його рідкої фази в газоподібну. Надійне випаровування забезпечується за рахунок обігріву редуктора рідиною з системи охолодження двигуна (теплоносієм), незалежно від положення клапана термостата останнього.

Електромагнітний газовий клапан 8 об'єднаний з фільтром тонкого очищення. Необхідність заміни фільтруючого елементу залежить від ступеня його забруднення. Як правило, фільтруючий елемент замінюють після 3000 тис. годин роботи.

Форсунка механічна (інжектор) 15 подає газ у впускну трубу двигуна якомога ближче до впускного клапана. Форсунка діафрагмового типу працює в пасивному режимі, тобто не управляється ЕБУ. Вона підтримує надмірний тиск в магістралі підведення газу від блоку-розподільника до форсунки.

Зріджений газ під тиском 1,6 МПа з балона по газопроводу високого тиску поступає в електромагнітний замочний газовий клапан 8 з фільтром, встановлений на двоступеневому редукторі-випарнику 7. Потім газ поступає в перший ступінь редуктора. У порожнині першого ступеня відбувається зниження тиску газу до 0,2 МПа з одночасним переходом газу з рідкого стану в пароподібний. У порожнині другого ступеня завершується перехід газу в пароподібний стан і на виході з неї створюється робочий тиск. Для забезпечення випаровування газу і компенсації при цьому теплових втрат в редуктор подається рідина з системи охолодження двигуна, яка циркулює в спеціальній порожнині, виконаній у вигляді теплообмінника.

Блок-розподільник газу 9 за допомогою дозатора 5, оснащеного кроковим електродвигуном, подає до кожного циліндра двигуна рівні порції випарованого газу. Через механічні форсунки (інжектори) 15 газ поступає у впускну трубу 11 безпосередньо в зону перед впускними клапанами кожного циліндра.

В електронний блок управління (ЕБУ) 1 від штатних датчиків системи управління двигуном поступає наступна інформація:

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 142.41.25.01 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          | 57   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

- частота обертання колінчастого валу двигуна (датчик 12);
- положення дросельної заслінки (датчик 10);
- концентрація кисню у відпрацьованих газах (датчик 13).

Абсолютний тиск у впускній трубі і температуру рідини, що поступає в редуктор-випарник, контролюють датчик 6 і датчик температури, встановлений на редукторі.

ЕБУ прочитує інформацію від датчиків і відповідно до сигналів, що поступають, приводить в дію виконавчий механізм (кроковий електродвигун), керівник дозатором ( $\lambda$ -клапаном).

В результаті такої корекції двигун при будь-якому режимі працює на газоповітряній суміші оптимального складу, що не тільки підвищує паливну економічність, але і знижує кількість токсичних речовин у відпрацьованих газах.

ЕБУ може працювати в двох основних режимах – без зворотного зв'язку і із зворотним зв'язком.

У першому режимі ЕБУ розраховує величину прохідного отвору дозатора на основі головних параметрів – частоти обертання колінчастого валу двигуна і тиску у впускній трубі. Діапазон складає 256 кроків, що відповідає 100% відкриття прохідного перетину отвору дозатора. За нульове положення прийнятий повністю закритий отвір для проходу газу з редуктора через дозатор.

Тиском газу, що подається з редуктора в блок-розподільник залежно від навантаження, управляють вакуумним способом – прямим з'єднанням редуктора з впускною трубою. При збільшенні навантаження тиск газу збільшується і в двигун поступає більша кількість газу навіть при неповному відкритті дозатора.

У другому режимі двигун починає працювати із зворотним зв'язком після прогрівання лямбда-зонда 13 до температури 300 – 350 °С. При цьому газ дозується і з урахуванням складу відпрацьованих газів.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 142.41.25.01 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          | 58   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

### 3.3 Розрахунок елементів системи подачі газу

#### 3.3.1 Розрахунок розмірів заслінки.

Заслінка встановлюється на трубопроводі двигуна, що з'єднує повітряний фільтр із впускним колектором, приводиться вона системою важелів від регулятора швидкості. Під час роботи газового двигуна за допомогою заслінки регулюється кількість повітря, що подається в циліндри двигуна в залежності від режиму його роботи. Так як заслінка конструктивно виконана у формі круга, то характерним її розміром є діаметр.

Діаметр заслінки знаходимо, виходячи із допустимої швидкості повітря  $v_{\text{пов}} = 35 \dots 40$  м/сек.

Із рівняння нерозривності потоку повітря знаходимо діаметр заслінки:

$$\frac{\pi \cdot d_3^2}{4} \cdot v_{\text{нов}} = \frac{V_{\text{нов}} \cdot p_0}{3600 \cdot p_k}$$
$$d_3 = \sqrt{\frac{4 \cdot V_{\text{нов}} \cdot p_0}{3600 \cdot p_k \cdot \pi \cdot v_{\text{нов}}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 197,9 \cdot 0,1}{3600 \cdot 0,1 \cdot 3,14 \cdot 37}} = 0,075 \text{ м} = 75 \text{ мм.}$$

де

$V_{\text{пов}} = B \cdot \alpha \cdot L_0$  - об'ємна витрата повітря;

$$V_{\text{пов}} = 4,92 \cdot 1,5 \cdot 26,81 = 197,9 \text{ м}^3$$

Перевірочний розрахунок на міцність виконуємо для вісі заслінки, яка під час вибуху газоповітряної суміші у впускному колекторі навантажується тиском, що в 7,5 разів перевищує тиск наддуву.

Сила, що діє на вісь заслінки знаходиться по формулі

$$P_3 = 7,5 \cdot p_k \cdot \frac{\pi \cdot d_3^2}{4} = 7,5 \cdot 0,1 \cdot 10^6 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,075^2}{4} = 3314 \text{ Н}$$

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 142.41.25.01 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          | 59   |

Під дією цієї сили вісь заслінки працює на зрізання в місцях, що приближені до її підшипників

Напруження зрізу в матеріалі вісі заслінки

$$\tau = \frac{P_{зр}}{2 \cdot \frac{\pi \cdot d_{\text{в}}^2}{4}} = \frac{2 \cdot P_{\text{з}}}{\pi \cdot d_{\text{в}}^2} = \frac{2 \cdot 3314}{3,14 \cdot 0,01^2} = 2,11 \cdot 10^7 \text{ Н / м}^2 = 21,1 \text{ МПа}$$

де  $d_{\text{в}} = 0,01$  м – діаметр вісі заслонки

Напруження не перевищує допустимого  $[\tau] = 150 \text{ МПа}$  для матеріалу вісі заслінки – сталь 45 ГОСТ 1050-84.

|      |      |          |        |      |                           |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПІННІ НУК 142.41.25.01 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                           | 60   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                           |      |

### 3.3.2 Розрахунок впускного колектора

Вихідні дані

|                                                                 |        |
|-----------------------------------------------------------------|--------|
| Потужність двигуна (номінальна), $N_e$ , кВт.....               | 46,4   |
| Номінальне число обертів двигуна, $n$ , хв. <sup>-1</sup> ..... | 6000   |
| Годинна витрата газу, $V$ , м <sup>3</sup> /год.....            | 5,55   |
| Коефіцієнт надлишку повітря, $\alpha$ .....                     | 1,25   |
| Температура повітря, при нормальних умовах, $T_0$ , К.....      | 293    |
| Тиск повітря при нормальних умовах, $P_0$ , Па.....             | 101000 |
| Газова постійна повітря, $R_p$ , Дж/(кг*град).....              | 281,5  |

Щільність повітря у впускному колекторі

$$\rho_p = P_0 / (R_p * T_0)$$

$$\rho_p = 101000 / (281,5 * 293) = 1,225 \text{ кг/м}^3$$

Швидкість газоповітряної суміші у впускному колекторі становить  $V$   
 $= 30 \text{ м/с}$

Діаметр впускного колектора

$$d = \sqrt{(4 * V_{\text{пов}} * \rho_p) / (\pi * n * 3600 * \rho_p)}$$

$$d = \sqrt{(4 * 197,9 * 1,225) / (3,14 * 30 * 3600 * 1,225)} = 0,075 \text{ м} = 75 \text{ мм}$$

|      |      |          |        |      |                           |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПІННІ НУК 142.41.25.01 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                           | 61   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                           |      |

## 4 ОГАНІЗАЦІЯ ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

### 4.1 Заходи з охорони праці

Охорона праці — це сукупність законодавчих актів і нормативів, спрямованих на забезпечення безпечних умов праці шляхом реалізації соціально-економічних, організаційних, технічних і санітарно-гігієнічних заходів.

Основною метою охорони праці є зменшення ризику травмування та професійних захворювань серед працівників, а також створення комфортних умов для максимально ефективної праці. У реальних виробничих умовах зазвичай присутні небезпечні та шкідливі фактори.

Небезпечний виробничий фактор — це чинник, який у певних умовах може викликати травму, захворювання або тимчасове зниження працездатності. Розмежування між небезпечним і шкідливим фактором часто є умовним, оскільки один і той самий фактор може як стати причиною нещасного випадку, так і впливати на зниження працездатності.

Під час роботи двигуна, а також допоміжних систем і механізмів, що його обслуговують, виникають численні виробничі фактори, які становлять загрозу для здоров'я та життя людини. Їх класифікація визначена стандартом ДСТ 12.0.003-83.

Пари пального та мастила здатні проникати в організм і викликати подразнення, що з часом може спричинити хронічні захворювання органів дихання. При згорянні палива й мастила двигун також викидає в атмосферу шкідливі речовини. Згідно з нормами СНиП 245-71, допустима концентрація оксиду вуглецю в повітрі не повинна перевищувати 20 мг/м<sup>3</sup>.

Крім того, висока температура частин двигуна, таких як випускний колектор, турбіна чи глушник, становить загрозу отримання опіків. Для зниження цього ризику необхідно використовувати теплоізоляційні матеріали для покриття гарячих елементів.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 142.41.25.01 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          | 62   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

## Пожежна безпека

Причиною пожеж є: несправність електроприладів, самозаймання промасленого дрانتя, несправність запірної арматури, знос і корозія елементів паливної апаратури, застосування відкритого вогню, недотримання норм пожежної безпеки при роботі з легкозаймаємими речовинами.

## Електробезпечність

Проходячи через тіло, струм впливає:

Термічно. Виражається в опіках, нагріванні кровоносних судин, нервів і інших тканин, гіперскорочення м'язових тканин.

Електрично. Виражається в зміні фізико-хімічного складу крові й інших рідин.

Біологічно. Виражається в подразненні і руйнуванні тканин організму, а також у порушенні внутрішніх процесів.

## Шум

Шум значно погіршує продуктивність праці. Впливає на людину, при інтенсивному рівні шуму тривалий час спостерігається втома слухового апарату, що може привести до часткового чи навіть до повної втрати слуху. Санітарні норми шуму приведені в таблиці 4.1

Таблиця 4.1 Санітарні норми шуму

|                 |     |     |     |     |      |      |      |      |
|-----------------|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|
| b, Гц           | 63  | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
| $\alpha_0$ , Дб | 103 | 96  | 91  | 88  | 85   | 83   | 81   | 80   |

Двигуни внутрішнього згоряння є одним із головних джерел шуму, що шкідливо впливає на людину. Шум — це сукупність звуків, які змінюються за частотою та інтенсивністю. Звук має хвильову природу, розповсюджується у будь-якому фізичному середовищі й сприймається слухом людини через вплив звукових хвиль. Найчастіше двигуни генерують звуки в діапазоні частот від 20 до 8000 Гц.

До основних параметрів звуку належать звуковий тиск і інтенсивність. Звуковий тиск — це різниця між миттєвим тиском у звуковій хвилі та

атмосферним тиском. Мінімальний тиск, який може сприйняти слух людини (пороговий), становить  $2 \cdot 10^{-5}$  Н/м<sup>2</sup>.

Інтенсивність звуку — це кількість енергії, яку хвиля переносить через одиницю площі за одиницю часу. Вона вимірюється у ватах на квадратний метр (Вт/м<sup>2</sup>) і прямо пропорційна квадрату звукового тиску. Порогова інтенсивність звуку становить  $10^{-12}$  Вт/м<sup>2</sup>.

Оскільки тиск і інтенсивність можуть змінюватися у великому діапазоні, для оцінки шуму застосовують логарифмічну шкалу в одиницях децибелів (дБ). Рівень шуму визначається як 20-кратний логарифм відношення фактичного звукового тиску до порогового, або як 10-кратний логарифм відношення звукової інтенсивності до порогової.

Шум двигуна внутрішнього згоряння має два основні джерела. Перший — механічний шум, що виникає через удари в з'єднаннях кривошипно-шатунного механізму, системі газорозподілу, паливній апаратурі та при зміні навантаження на деталі в процесі робочого циклу. Другий — газодинамічний шум, пов'язаний із коливаннями газів або рідин у системах двигуна під час руху та згоряння паливо-повітряної суміші.

На номінальному режимі роботи рівень шуму може досягати 110–120 дБ. Він значною мірою залежить від експлуатаційних умов — таких як навантаження і частота обертання. Зменшення обертів двигуна може знизити шум на 10–15 дБ.

### Вібрація

Вібрації виникають унаслідок динамічної неврівноваженості мас у кривошипно-шатунному механізмі двигуна. Локальні вібрації впливають на судини, викликаючи їх спазм і погіршення кровообігу. Загальні вібрації частотою близько 0,7 Гц можуть спричинити симптоми, схожі на морську хворобу, а коливання в діапазоні 4–30 Гц — ушкодження плечового пояса та внутрішніх органів через резонанс.

Допустимі рівні вібрацій регламентуються відповідними стандартами, наведеними в таблиці 4.2.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 142.41.25.01 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          | 64   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

Таблиця 4.2 Санітарні норми вібрації

| Напрямок нормування вібрації | Середньоквадратична віброшвидкість (чисельник, м/с*10 <sup>-2</sup> ),<br>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 створюємий двигуном.

Рівень шуму вироблений двигуном 4 ГЧ 7,6/7,1 визначається по формулі:

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

де:

$n_n$  – номінальна частота обертання,  $n_n = 6000$  об/хв;

$n$  – робоча частота обертання,  $n = 6000$  об/хв;

$N_e$  – номінальна потужність двигуна,  $N_e = 46,4$  кВт.

$$L = \left[ 54 + 10 \lg(6000 + 46.4^{0.55}) + 30 \lg\left(\frac{6000}{6000}\right) \right] = 71,4 \text{ Дб} ;$$

Рівень шуму перевищує припустимі значення. Необхідно проводити заходи щодо зниження рівня шуму.

Рівень вібрації для двигуна 4ГЧ 7,6/8 визначається по формулі:

$$L = 44 + 10 \lg \left( \frac{n_n \cdot Ne^{0.55} \cdot \left( \frac{1 + Ne}{m} \right)}{1 + \left( \frac{1}{1500} \right)^3 \cdot \frac{m}{Ne}} \right) + 30 \lg\left(\frac{n}{n_n}\right), \text{Дб}$$

де  $m$  – маса двигуна,  $m = 127$  кг;

$$L = 44 + 10 \lg \left( \frac{600 \cdot 46.4^{0.55} \cdot \left( \frac{1 + 46,4}{127} \right)}{1 + \left( \frac{1}{1500} \right)^3 \cdot \frac{127}{46,4}} \right) + 30 \lg\left(\frac{6000}{6000}\right) = 82,1 \text{ Дб} ;$$

## Заходи зниження шуму та вібрації

Для зменшення шуму, який створюється двигуном, застосовуються як конструктивні рішення, так і спеціальні пристрої — зокрема глушники.

До конструктивних методів зменшення шуму належать:

- підбір поршнів і шатунів за масовими групами,
- використання маховика та противаг,
- мінімізація зазорів у рухомих з'єднаннях,
- впровадження дезаксіального кривошипно-шатунного механізму,
- застосування кулачків розподільного вала з безударною формою профілю,
- встановлення шумопоглинаючих накладок,
- збільшення товщини стінок циліндрів у місцях інтенсивної зміни тиску,
- використання камер згоряння, що забезпечують поступове підвищення тиску газів.

Для зниження шуму у впускній системі використовують:

- спеціальні повітроочисники зі звукоізолювальними прокладками,
- резонансні розширювальні камери,
- м'які гофровані шланги.

Ці засоби дозволяють знизити шум у впускному тракті на 30–35 дБ.

Для приглушення шуму випуску застосовують глушники різних типів. Їх конструкція і розміри розробляються індивідуально для кожної моделі двигуна, оскільки універсальні глушники не гарантують належного шумозаглушення.

Найбільш поширеними є глушники, в яких шум зменшується за допомогою:

- розширювальних і резонансних камер,
- спеціальних перфорованих труб,
- сіток,
- звукопоглинаючих матеріалів.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 142.41.25.01 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          | 66   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

#### 4.2 Захист навколишнього середовища

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

а) продукти повного (біоксиду вуглецю  $\text{CO}_2$ ) та неповного згоряння (оксид вуглецю  $\text{CO}$ , неспалені вуглеводні  $\text{C}_n\text{H}_m$ , в тому числі поліциклічні ароматичні, сажа або тверді частинки);

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

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

#### Вплив оксиду вуглецю на організм людини

Основна небезпека оксиду вуглецю ( $\text{CO}$ ) полягає у його здатності порушувати процес газообміну в організмі. Гемоглобін, який переносить кисень у крові, у легенях зв'язується з  $\text{CO}$  у 240 разів швидше, ніж із киснем, утворюючи карбоксигемоглобін ( $\text{COHb}$ ). Унаслідок цього кров втрачає здатність доставляти кисень до тканин і виводити з них вуглекислий газ.

Ступінь шкідливого впливу  $\text{CO}$  залежить від його концентрації в повітрі та тривалості дії. При концентрації 0,01% і більше протягом понад однієї години спостерігаються головний біль, зниження працездатності, уповільнення реакції. Вищі концентрації можуть викликати втрату свідомості, а за тривалої дії — серйозні наслідки для здоров'я, включаючи ураження центральної нервової системи, розвиток серцево-судинних хвороб, інфаркт міокарда, а також хвороби легень. Найвразливішими є люди з коронарною недостатністю.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 142.41.25.01 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          | 67   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

Високий вміст карбоксигемоглобіну в крові може стати причиною непритомності, а в тяжких випадках — і смерті. Дослідження показують, що навіть при перебуванні в атмосфері з вмістом СО на рівні 0,001–0,0015% (10–15 мільйонних часток) протягом 8 годин у деяких людей спостерігається зниження здатності точно оцінювати час.

Процес утворення СОНб є оборотним: після припинення надходження СО до організму його рівень у крові знижується вдвічі приблизно кожні 3–4 години.

Щодо впливу оксиду вуглецю на рослинний світ, дослідження засвідчили, що за концентрації нижче 0,01% шкідливого ефекту зазвичай не спостерігається, навіть при тривалому впливі (до 3 тижнів). Проте в окремих випадках відзначалося погіршення процесу утворення пилку. З великої кількості вуглеводнів, які містяться у відпрацьованих газах, найбільшої шкоди завдають ароматичні вуглеводні олефінового ряду, тобто ненасичені вуглеводні етилового ряду, що мають високу активність і є вихідними продуктами для утворення фотохімічного смогу. Вплив вуглеводнів на організм людини різноманітний: від виникнення неприємних відчуттів до появи різних захворювань. Характерною особливістю дії вуглеводнів на організм людини є їх вплив на центральну нервову систему. Великі концентрації вуглеводнів можуть призвести до наркотичного сп'яніння, що неприйнятно, особливо під час керування автомобілем. Окрім того, вуглеводні спричиняють виникнення серцево-судинних захворювань, аритмію серця, порушують діяльність шлунково-кишкового тракту, викликають зміни у складі крові.

Численними дослідженнями встановлено, що один із вуглеводнів – етилен – негативно впливає на рослини, викликаючи симптоми раннього старіння, хронічні ураження, відпадання квіток та плодів, припинення росту.

Особливу групу вуглеводнів складають канцерогени – речовини, що спричиняють ракові захворювання. Серед них особливою канцерогенною активністю відрізняється бенз(б)пірен ( $C_{20}H_{12}$ ), що має вигляд кристалів жовтого кольору. Він добре розчиняється в оливах, жирах, сироватці людської крові, в

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 142.41.25.01 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          | 68   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

місцях безпосереднього контакту кристалів з тканинами органів спричиняє виникнення злоякісних пухлин, має властивість накопичуватися в організмі людини і, досягнувши критичних концентрацій, спричиняє ракове захворювання.

Альдегіди та інші шкідливі речовини у відпрацьованих газах

До основних альдегідів, які потрапляють в атмосферу разом із відпрацьованими газами, належать формальдегід і акролеїн.

Формальдегід (інша назва — мурашковий альдегід) — це безбарвний газ із різким задушливим запахом, що сильно подразнює дихальні шляхи. При температурі  $-21^{\circ}\text{C}$  він конденсується у рідину. Формальдегід добре розчиняється у воді, а його 40% водний розчин відомий під назвою формалін.

Ця речовина токсична: впливає на дихальні органи, слизові оболонки, центральну нервову систему, печінку та нирки. Уже при концентрації 0,007% у повітрі виникає незначне подразнення слизових оболонок очей і носа, а при 0,18% — сильне подразнення. Людина може відчутти запах формальдегіду вже при концентрації 0,000015%, що є сигналом про небезпечні умови.

Акролеїн — безбарвна рідина з характерним запахом перегорілого жиру, кипить при температурі  $52,4^{\circ}\text{C}$ . Пари акролеїну сильно подразнюють слизові оболонки очей. Його вміст у повітрі на рівні 0,002% є смертельно небезпечним, 0,0005% — дуже важко переносним, а концентрація 0,00008% вважається безпечною. Запах акролеїну розпізнається людиною вже при концентрації 0,00016%. Потрапляння в атмосферу 0,014% акролеїну може призвести до смерті людини вже за 10 хвилин. Його дія на організм подібна до дії формальдегіду.

Крім альдегідів, відпрацьовані гази двигунів внутрішнього згоряння є джерелом викидів твердих частинок, зокрема сажі (кіптяви). Частинки сажі розміром від 0,5 до 2 мкм осідають у легенях, викликаючи алергічні реакції.

Особливу небезпеку сажа становить через здатність адсорбувати токсичні сполуки, зокрема поліциклічні ароматичні вуглеводні, найнебезпечнішим серед яких є бенз(а)пірен. Потрапляючи в організм разом із сажевими частинками, ці речовини можуть завдати серйозної шкоди здоров'ю через дихальні

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 142.41.25.01 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          | 69   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

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

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

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

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

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

Газ вражає органи дихання, змінює склад крові, погіршує імунітет, порушує білковий обмін речовин в організмі. Крім того, він руйнує вітамін B1 у крові, збільшує накопичення цукру і білку.

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

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

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 142.41.25.01 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          | 70   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

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

Розробку та впровадження ефективних заходів із суттєвого зниження токсичності викидів з відпрацьованими газами слід проводити у таких основних напрямках:

– оптимізація робочого процесу та конструктивне вдосконалення. Це можна досягти такими методами як: оптимізація сумішоутворення та згоряння; інтенсифікація і вибір закону паливоподачі, пошук раціональних регулювань паливної апаратури; поліпшення повітропостачання; підвищення ефективності згоряння на часткових швидкісних режимах і при мінімальній частоті обертання холостого ходу; запровадження присадок до палив та використання водопаливних емульсій; вдосконалення перехідних процесів; рівномірний розподіл палива по циліндрах; пошук раціональних фаз газорозподілу, ступеня стиску та інших конструктивних параметрів, що безпосередньо впливають на екологічні характеристики робочого процесу; збіднення суміші у двигунах з іскровим запалюванням; проміжне охолодження наддувочного повітря.

– нейтралізація та рециркуляція випускних газів.

– постійне корегування нормативів на токсичність ДВЗ з посиленням уваги до їхніх канцерогенних компонентів, з розширенням спектра токсидів, що підлягають нормуванню; треба при цьому виходити з експлуатаційних оцінок з урахуванням всіх без винятку експлуатаційних режимів. Для цього треба відмовлятися від модельних навантажень двигунів, розробляючи й використовуючи найчутливіші та високошвидкодійні автоматизовані, комп'ютеризовані, вимірювально-діагностичні комплекси, здатні у режимі реального часу видавати середньоексплуатаційні оцінки рівнів токсидів ДВЗ, узагальнені за шкалою вагомості негативних наслідків для людини впливу токсичних компонентів й приведені до найбільш шкідливого з них, наприклад, СО;

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 142.41.25.01 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          | 71   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

– розробка математичних моделей процесів створення токсидів у циліндрах ДВЗ із значно ширшим колом призначень та з урахуванням реальних моделей експлуатації;

– поглиблення комп'ютеризації керування ДВЗ як необхідної умови створення екологічно чистих двигунів;

– застосування комплексного паливно-екологічного критерію для оцінок результатів оптимізації конструктивних, режимних, регулювальних параметрів при створенні екологічно чистих двигунів з високою паливною економічністю;

– суттєве удосконалення систем діагностування ДВЗ при оцінках їх експлуатаційної токсичності у режимах реального часу;

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 142.41.25.01 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          | 72   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

## ВИСНОВКИ

Згідно із завданням кваліфікаційної роботи бакалавра розроблені розрахунок робочого процесу, тепловий розрахунок, динамічний розрахунок. По результатам розрахунків побудовані індикаторна діаграма дійсного робочого циклу і діаграми сил, що діють на деталі КШМ. Пояснювальні матеріали газового двигуна 4ГЧ 7,6/8 з розробкою системи подачі газу інжекторного типу, які оформлені у вигляді пояснювальної записки та конструкторської частини проекту загальною кількістю: чотири аркуші формату А1 і один аркуш А2.

В пояснювальній записці виконаний детальний опис обладнання водонасосної станції наведенням їх параметрів. Конструкція елементів системи, а також план розміщення устаткування у водонасосній станції показані на листах графічної частини бакалаврської кваліфікаційної роботи.

В науковому розділі зробили класифікацію та описання сучасних систем подачі газу. Виконали розрахунок елементів системи подачі газу, розрахунок розмірів заслінки.

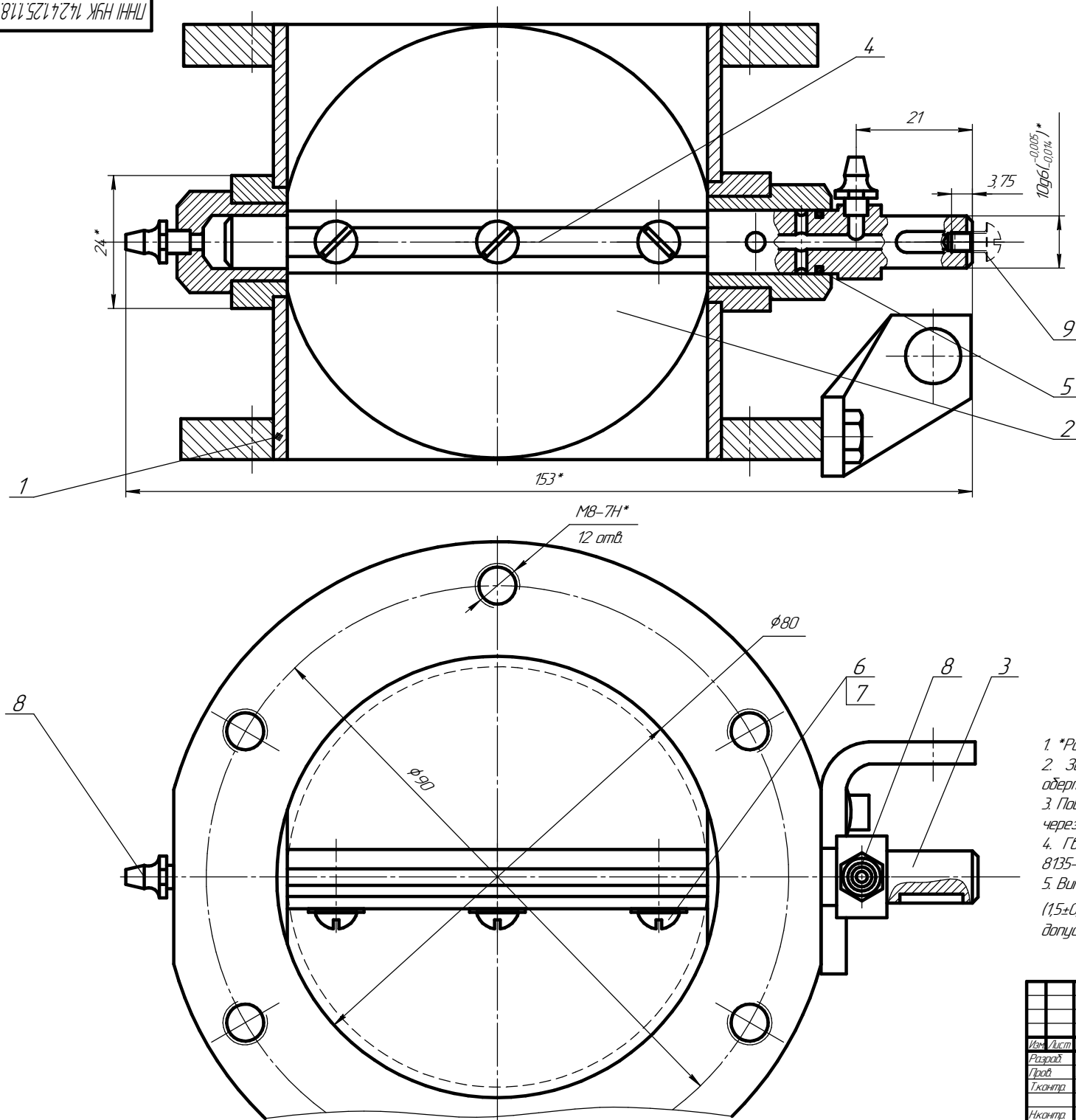
Зважаючи на те, що розроблений газовий двигун є джерелом шуму і вібрації, частину дипломного проекту відведено для розробки заходів по зменшенню негативного впливу його роботи на обслуговуючий персонал і на навколишнє середовище.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 142.41.25.01 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          | 73   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

## ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ

1. Абрамчук Ф.І., Гутаревич Ю.Ф. та інш. Автомобільні двигуни. Підручник. – К.: Арістей, 2004. – 476 с.
2. Ваншейдт В.А. Конструирование и расчёты прочности судовых дизелей. Л.: Судостроение, 1969. – 640 с.
3. Гутаревич Ю.Ф., Зеркалов Д.В., та інш. Екологія та автомобільний транспорт. Навчальний посібник: – К.: Арістей. 2006. – 292 с.
4. Двигатели внутреннего сгорания: Конструирование и расчет на прочность поршневых и комбинированных двигателей. Учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности „Двигатели внутреннего сгорания”/ Д.И. Вырубов, С.И. Ефимов, И.А. Иващенко и др.: Под ред. А.С. Орлина, М.Г. Круглова. – 4-е изд., перераб. И доп. – М.:Машиностроение,1984.–384с., ил.
5. Двигуни внутрішнього згорання: Серія підручників у 6 томах. Т. 5. Екологізація ДВЗ / За ред. проф. А.П. Марченка та засл. діяча науки України проф. А.Ф. Шеховцова – Харків: Прапор, 2004. – 360 с.
6. ДИЗЕЛИ. Справочник. Изд. 3-е перераб. и доп. Под общей редакцией В.А.Ваншейдта, Н.Н. Иванченко, Л.К. Коллерова. Л., „Машиностроение”,1977. 480 с. с ил.
7. Руководство по эксплуатации автомобиля ВАЗ 2108
8. Каширин Р.В., Голубев Л.Ю., Соколов М.Ф. «Пособие для должностных лиц и специалистов по курсу «Охрана труда»». Николаев: «Учебный центр», 2003.
9. Натальчишина В.П., Брендуля М.Ф., Гиль О.О. Вимоги до оформлення курсових та дипломних проектів (робіт). Методичні вказівки для студентів інституту та коледжу. – Первомайськ: ППІ – 47с.
10. Полтев В.Н. «Охрана труда в машиностроении».
11. Фомин Ю.Я., Горбань А.И., и др. Судовые двигатели внутреннего сгорания: Учебник/ – Л.: Судостроение, 1989. – 344 с.: ил.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ПННІ НУК 142.41.25.01 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          | 74   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |



1. \*Розміри для довідок.

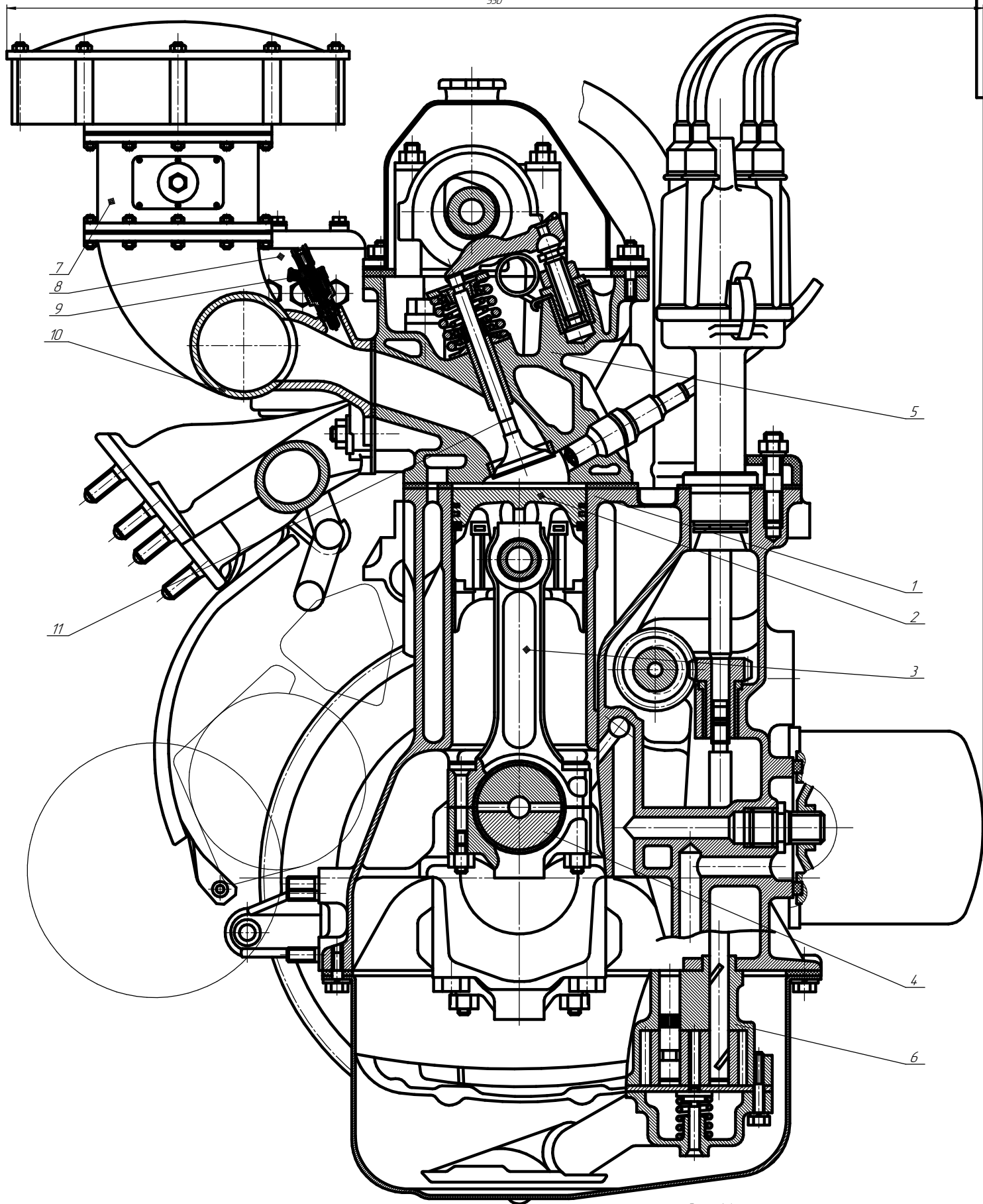
2. Заслінка поз. 2, яка встановлена на вісь поз. 3 повинна обертатися вільно та без заклинювань.

3. Поверхні тертя змастити змазкою ЦИАТИМ-201 ГОСТ 6267-74 через масельнички поз. 8.

4. Гвинт поз. 9 завернути до упору на залізному суріку ГОСТ 8135-74, відрізати по торцю вісі поз. 3 та розкернати в 2-х точках;  
5. Випробувати на герметичність пневматичним тиском  $150 \pm 10$  кПа ( $15 \pm 0,1$  кгс/см<sup>2</sup>) на протязі 3-х хвилин. Вихід повітря не допустимий.

|          |            |  |      |      |                               |           |        |         |
|----------|------------|--|------|------|-------------------------------|-----------|--------|---------|
|          |            |  |      |      | ПННІ НУК 14.2.4.125.118.10 СК |           |        |         |
|          |            |  |      |      |                               | Лист      | Масса  | Масштаб |
| Изм/Лист | № докум    |  | Подп | Дата | Заслінка                      |           |        | 2:1     |
| Разроб   | Козиленко  |  |      |      |                               |           |        |         |
| Проб     | Дубовець   |  |      |      |                               |           |        |         |
| Ткантр   | Дубовець   |  |      |      |                               | Лист      | Листов | 1       |
| Нкантр   | Дубовець   |  |      |      |                               | 41-ЕМ-213 |        |         |
| Утв      | Нестеренко |  |      |      |                               |           |        |         |

| Перв. примен. |            | Формат    | Зона     | Поз.  | Обозначение                  | Наименование             | Кол.      | Примечание |        |
|---------------|------------|-----------|----------|-------|------------------------------|--------------------------|-----------|------------|--------|
| Справ. №      |            |           |          |       |                              | Документація             |           |            |        |
|               |            |           |          |       | ПННІ НУК14.2.4.125.10.0.0 ПД | Складальне креслення     |           |            |        |
|               |            |           |          |       |                              | Складальні одиниці       |           |            |        |
|               |            |           | 1        |       | ПННІ НУК14.2.4.125.11.0.0    | Газовий двигун 4ГЧ 7,6/8 | 1         |            |        |
|               |            |           | 2        |       | ПННІ НУК14.2.4.125.12.0.0    | Насос                    | 1         |            |        |
|               |            |           | 3        |       | ПННІ НУК14.2.4.125.13.0.0    | Редуктор                 | 1         |            |        |
|               |            |           | 4        |       | ПННІ НУК14.2.4.125.14.0.0    | Рама двигун-насоса       | 1         |            |        |
|               |            |           |          |       |                              |                          |           |            |        |
|               |            |           |          |       |                              |                          |           |            |        |
|               |            |           |          |       |                              |                          |           |            |        |
| Подп. и дата  |            |           |          |       |                              |                          |           |            |        |
| Инв. № дѣл.   |            |           |          |       |                              |                          |           |            |        |
| Взам. инв. №  |            |           |          |       |                              |                          |           |            |        |
| Подп. и дата  |            |           |          |       |                              |                          |           |            |        |
| Инв. № подл.  |            |           |          |       | ПННІ НУК14.2.4.125.10.0.0    |                          |           |            |        |
|               | Изм.       | Лист      | № докум. | Подп. | Дата                         |                          |           |            |        |
|               | Разраб.    | Коцюбенко |          |       |                              | Двигун-насос             | Лист      | Лист       | Листов |
|               | Пров.      | Дубовець  |          |       |                              |                          |           |            | 1      |
|               | Н.контр.   | Дубовець  |          |       |                              |                          | 41-ЕМ-21з |            |        |
| Утв.          | Нестеренко |           |          |       |                              |                          |           |            |        |

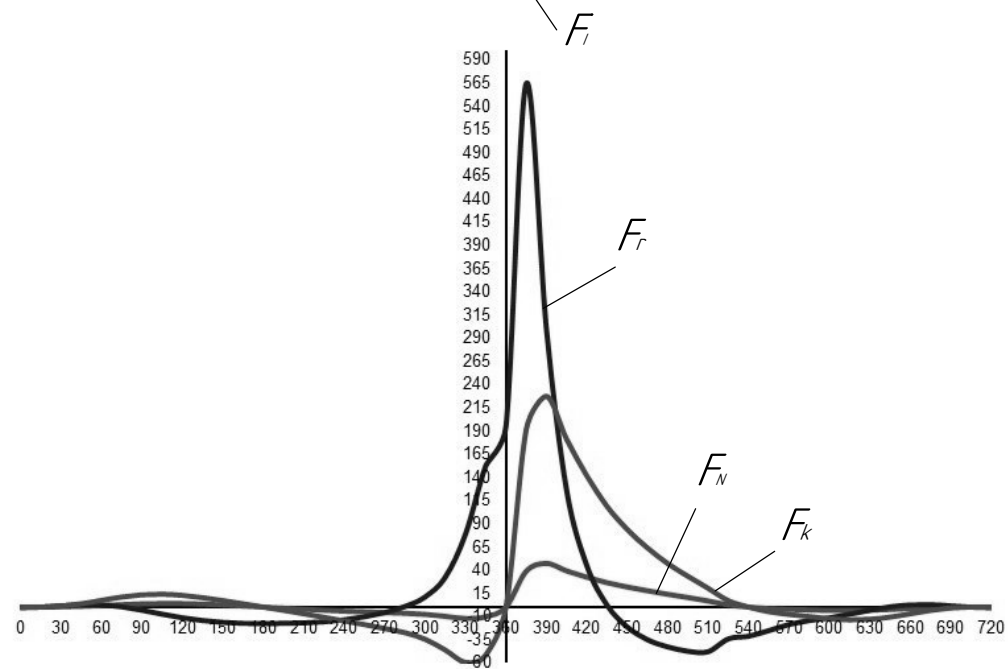
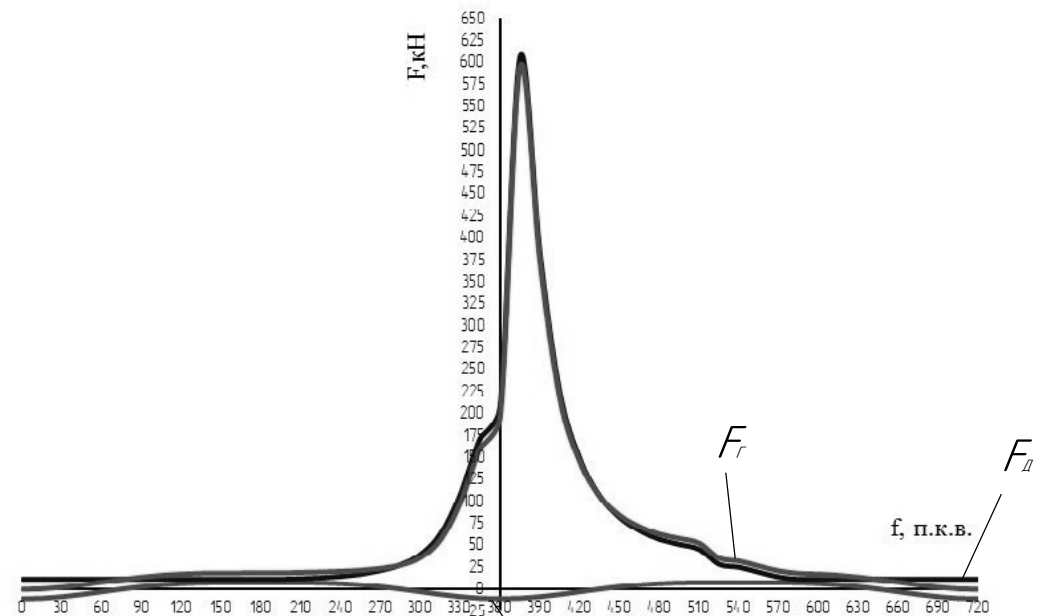


Ефективні показники:  
 Ефективна потужність  $P_e=45$  кВт  
 Частота обертання колінчастого валу  $n=6000$  об/хв  
 Діаметр циліндра  $d=76$  мм  
 Хід поршня  $S=80$  мм  
 Ступінь стиску  $\epsilon=8,5$   
 Ефективна витрата палива  $q_p = 0,123$  м<sup>3</sup>/кВт з

Технічні вимоги  
 Масло яке використовується на двигуні МГ10Г2УС. Охолоджувача рідина  
 вода прісна з антикорозійною присадкою ВНИИП117/Д

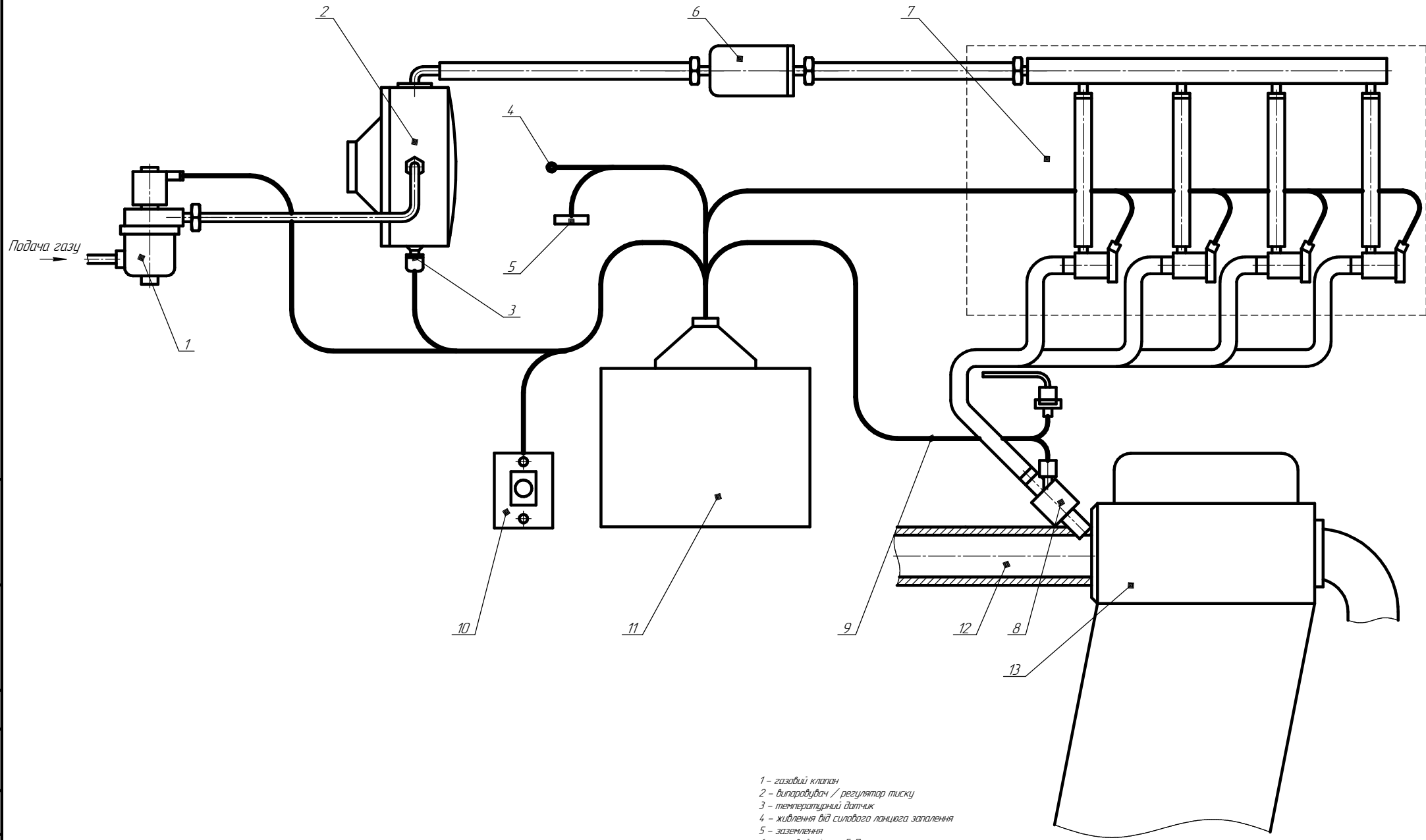
|                             |            |       |      |                |      |       |           |       |       |
|-----------------------------|------------|-------|------|----------------|------|-------|-----------|-------|-------|
| ПННІ НУК14.2.4.125.1.0.0 СК |            |       |      | Двигун газопий |      |       | 4ГЧ 7,6/8 |       |       |
| Модель                      | № докум.   | Розд. | Мат. | Лист           | Маса | Місця | Місця     | Місця | Місця |
| Розроб.                     | Коробочко  |       |      |                | 9    | 120,7 | 11        |       |       |
| Роб.                        | Дободень   |       |      |                |      |       |           |       |       |
| Контр.                      | Дободень   |       |      |                |      |       |           |       |       |
| Начальн.                    | Дободень   |       |      |                |      |       |           |       |       |
| Чир.                        | Нестеренко |       |      |                |      |       |           |       |       |

| Перв. примен. |  | Формат | Зона | Поз. | Обозначение                     | Наименование          | Кол. | Приме-<br>чание |
|---------------|--|--------|------|------|---------------------------------|-----------------------|------|-----------------|
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
| Справ. №      |  | A2     |      |      | ПННІ НУК 14.2.4.1.25.1.18.10 СК | Складальне креслення  |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      | 1    | ПННІ НУК 14.2.4.1.25.1.18.11    | Корпус                | 1    |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      | 2    | ПННІ НУК 14.2.4.1.25.1.18.12    | Заслінка              | 1    |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      | 3    | ПННІ НУК 14.2.4.1.25.1.18.113   | Вісь                  | 1    |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      | 4    | ПННІ НУК 14.2.4.1.25.1.18.14    | Планка                | 2    |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      | 5    |                                 | Кільце 10-14-25       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      | 6    |                                 | Гвинт ВМ5-8gx16.66.45 | 1    |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      | 7    |                                 | Шайба 5.65Г           | 3    |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      | 8    |                                 | Масельничка 1.1Ц6     | 3    |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      | 9    |                                 | Гвинт ВМ6-8gx10.66.45 | 2    |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |
|               |  |        |      |      |                                 |                       |      |                 |

[illegible]

| Перв. примен. |            | Формат   | Зона | Поз.  | Обозначение                      | Наименование                | Кол. | Примечание |        |
|---------------|------------|----------|------|-------|----------------------------------|-----------------------------|------|------------|--------|
|               |            |          |      |       |                                  |                             |      |            |        |
|               |            |          |      |       |                                  | Документація                |      |            |        |
|               |            |          |      |       |                                  |                             |      |            |        |
|               |            | A1       |      |       | ПННІ НУК 14.2.4.1.25.1.10.0.0 СК | Складальне креслення        |      |            |        |
|               |            |          |      |       |                                  |                             |      |            |        |
|               |            |          |      |       |                                  | Складальні одиниці          |      |            |        |
|               |            |          |      |       |                                  |                             |      |            |        |
| Справ. №      |            |          | 1    |       | ПННІ НУК 14.2.4.1.25.1.11.0.0    | Блок циліндрів              | 1    |            |        |
|               |            |          | 2    |       | ПННІ НУК 14.2.4.1.25.1.12.0.0    | Поршень                     | 4    |            |        |
|               |            |          | 3    |       | ПННІ НУК 14.2.4.1.25.1.13.0.0    | Шатун                       | 4    |            |        |
|               |            |          | 4    |       | ПННІ НУК 14.2.4.1.25.1.14.0.0    | Колінчастий вал             | 1    |            |        |
|               |            |          | 5    |       | ПННІ НУК 14.2.4.1.25.1.15.0.0    | Головка циліндрів           | 1    |            |        |
|               |            |          | 6    |       | ПННІ НУК 14.2.4.1.25.1.16.0.0    | Насос масляний              | 1    |            |        |
|               |            |          | 7    |       | ПННІ НУК 14.2.4.1.25.1.17.0.0    | Фільтр повітряний           | 4    |            |        |
|               |            |          | 8    |       | ПННІ НУК 14.2.4.1.25.1.18.0.0    | Розподільник газовий        | 4    |            |        |
|               |            |          | 9    |       | ПННІ НУК 14.2.4.1.25.1.19.0.0    | Форсунка газова             | 1    |            |        |
|               |            |          | 10   |       | ПННІ НУК 14.2.4.1.25.1.110.0.0   | Впускний колектор           | 1    |            |        |
|               |            |          | 11   |       | ПННІ НУК 14.2.4.1.25.1.111.0.0   | Клапан впускний             | 4    |            |        |
| Подп. и дата  |            |          |      |       |                                  |                             |      |            |        |
|               |            |          |      |       |                                  |                             |      |            |        |
|               |            |          |      |       |                                  |                             |      |            |        |
|               |            |          |      |       |                                  |                             |      |            |        |
|               |            |          |      |       |                                  |                             |      |            |        |
|               |            |          |      |       |                                  |                             |      |            |        |
|               |            |          |      |       |                                  |                             |      |            |        |
|               |            |          |      |       |                                  |                             |      |            |        |
|               |            |          |      |       |                                  |                             |      |            |        |
|               |            |          |      |       |                                  |                             |      |            |        |
|               |            |          |      |       |                                  |                             |      |            |        |
| Взам. инв. №  |            |          |      |       |                                  |                             |      |            |        |
|               |            |          |      |       |                                  |                             |      |            |        |
|               |            |          |      |       |                                  |                             |      |            |        |
|               |            |          |      |       |                                  |                             |      |            |        |
|               |            |          |      |       |                                  |                             |      |            |        |
|               |            |          |      |       |                                  |                             |      |            |        |
|               |            |          |      |       |                                  |                             |      |            |        |
|               |            |          |      |       |                                  |                             |      |            |        |
|               |            |          |      |       |                                  |                             |      |            |        |
|               |            |          |      |       |                                  |                             |      |            |        |
|               |            |          |      |       |                                  |                             |      |            |        |
| Подп. и дата  |            |          |      |       |                                  |                             |      |            |        |
|               |            |          |      |       |                                  |                             |      |            |        |
|               |            |          |      |       |                                  |                             |      |            |        |
|               |            |          |      |       |                                  |                             |      |            |        |
|               |            |          |      |       |                                  |                             |      |            |        |
|               |            |          |      |       |                                  |                             |      |            |        |
|               |            |          |      |       |                                  |                             |      |            |        |
|               |            |          |      |       |                                  |                             |      |            |        |
|               |            |          |      |       |                                  |                             |      |            |        |
|               |            |          |      |       |                                  |                             |      |            |        |
|               |            |          |      |       |                                  |                             |      |            |        |
| Инв. № подл.  |            |          |      |       |                                  |                             |      |            |        |
|               |            |          |      |       |                                  |                             |      |            |        |
|               |            |          |      |       |                                  |                             |      |            |        |
|               |            |          |      |       |                                  |                             |      |            |        |
|               |            |          |      |       |                                  |                             |      |            |        |
|               |            |          |      |       |                                  |                             |      |            |        |
|               |            |          |      |       |                                  |                             |      |            |        |
|               |            |          |      |       |                                  |                             |      |            |        |
|               |            |          |      |       |                                  |                             |      |            |        |
|               |            |          |      |       |                                  |                             |      |            |        |
|               |            |          |      |       |                                  |                             |      |            |        |
|               |            |          |      |       | ПННІ НУК14.2.4.1.25.1.10.0       |                             |      |            |        |
| Изм.          | Лист       | № докум. |      | Подп. | Дата                             |                             |      |            |        |
| Разраб.       | Коцюбенко  |          |      |       |                                  | Двигун газовий<br>4ГЧ 7,6/8 |      |            |        |
| Проб.         | Дубовець   |          |      |       |                                  |                             |      |            |        |
| Н.контр.      | Дубовець   |          |      |       |                                  | 41-ЕМ-21з                   |      |            |        |
| Утв.          | Нестеренко |          |      |       |                                  |                             |      |            |        |
|               |            |          |      |       |                                  |                             | Лит. | Лист       | Листов |
|               |            |          |      |       |                                  |                             |      |            | 1      |

Подача газу  
→



- 1 - газодійний клапан
- 2 - випаровувач / регулятор тиску
- 3 - температурний датчик
- 4 - живлення від силового ланцюга запалення
- 5 - заземлення
- 6 - газодійний фільтр 5-7 мкм
- 7 - блок-розподільник газу
- 8 - газова форсунка (інжектор)
- 9 - кабель емулятора газових форсунок
- 10 - перемикач видає палива з індикатором
- 11 - електронний блок керування
- 12 - впускний повітряний колектор двигуна
- 13 - двигун

|                              |  |  |  |  |  |  |  |  |  |           |  |  |
|------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----------|--|--|
| ПННІ НУК14.2.4.125.10.0.0 СХ |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Лист 11   |  |  |
| Схема подачі газу            |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Масштаб   |  |  |
| інжекторного типу            |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 1         |  |  |
| 41-ЕМ-213                    |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Формат А1 |  |  |
| Копіювати                    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |           |  |  |