

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

Кафедра «Енергетичне машинобудування»

«Допущений до захисту»
Завідувач кафедри

_____ 2022 р.
« ____ » _____

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»

на тему: Підвищення експлуатаційних показників стаціонарного газового двигуна потужністю 450 кВт за рахунок удосконалення системи подачі паливного газу.

Виконав:

студент групи 61-ТЕМмаг-21

_____ *Дударчук Є. С.*
(підпис)

Керівник роботи:

доцент кафедри ЕМ, к.т.н., доцент
(посада, науковий ступень, вчене звання)

_____ *Нестеренко В.В.*
(підпис)

Первомайськ - 2022 р.

Анотація

При розробці дипломного проекту було поставлено завдання розробити систему подачі біогазу для електростанції, з найменшими на це затратами, потужністю 450 кВт на базі двигуна внутрішнього згоряння типу 6ГЧН25/34.

Виконано опис вузлів та систем спроектованого двигуна, в які входять: опис конструкції газового двигуна, систем двигуна, а також принцип роботи вузлів та систем.

Проведено конструкторський розрахунок в який входить: розрахунок робочого процесу газового двигуна з перевірочними розрахунками, тепловий розрахунок, побудована індикаторна діаграма, а також динамічний розрахунок з побудовою графіків.

Виконано розрахунки на міцність шатуна двигуна 6ГЧН25/34.

Була поставлена та виконана задача спроектувати систему подачі паливного газу. Виконано розрахунки системи живлення.

Проведено технологічний розділ в якому обрано тип виробництва, вибрано обладнання та пристосування, розраховано технічна норма часу на складання заслінки.

Визначені заходи по охороні праці на електростанції, положення про охорону праці, проведені розробки заходів з охорони праці та навколишнього середовища.

На форматі А1 виконано креслення електростанції на базі двигуна 6ГЧН 25/34, поздовжній та поперечний перерізи двигуна 6ГЧН25/34, схему системи живлення двигуна 6ГЧН25/34, складальне креслення кришка циліндра, складальні креслення змішувача, колектора випускного, заслінки.

Annotation

When developing the diploma project, the task was to develop a biogas supply system for a power plant, with the lowest cost, with a capacity of 450 kW based on an internal combustion engine type 6GCHN25/34.

The description of components and systems of the designed engine, which include: description of the design of the gas engine, engine systems, as well as the principle of operation of components and systems.

A design calculation was carried out, which includes: calculation of the working process of the gas engine with verification calculations, thermal calculation, an indicator diagram was built, as well as a dynamic calculation with the construction of graphs.

Calculations on the strength of the connecting rod of the 6GCHN25/34 engine were performed.

The task was set and completed to design a fuel gas supply system. Calculations of the power supply system were performed.

The technological section was carried out in which the type of production was chosen, equipment and devices were selected, the technical norm of time for the assembly of the damper was calculated.

Measures for labor protection at the power plant, regulations on labor protection were determined, development of measures for labor protection and environmental protection were carried out.

Drawings of the power plant on the basis of the engine 6GCHN 25/34, longitudinal and cross sections of the engine 6GCHN25/34, diagram of the power supply system of the engine 6GCHN25/34, assembly drawing of the cylinder cover, assembly drawings of the mixer, exhaust manifold, damper were made in A1 format.

3MICT

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ	
1.1. Інформація про об’єкт використання двигуна	6
1.2. Опис конструкції базового двигуна	10
РОЗДІЛ 2. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ	
2.1 Вимоги до проектного двигуна	16
2.2 Розрахунок робочого циклу дизельного двигуна	18
2.3 Розрахунок теплового балансу двигуна	28
2.4 Розрахунок індикаторної діаграми	33
2.5 Динамічний розрахунок двигуна	37
2.6 Аналіз ефективних показників проектного двигуна та двигуна-прототипу	44
РОЗДІЛ 3. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ	
3.1 Існуючі технології виробництва біогазу	45
3.2 Описання системи паливного газу	49
3.3 Розрахунок системи газоповітряної суміші	53
3.4 Визначення типу виробництва	55
3.5 Вибір обладнання, пристосування та інструменту	56
3.6 Визначення технічної норми часу	57
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	
4.1 Аналіз шкідливих та небезпечних факторів в машинному відділенні при експлуатації двигуна	58
4.2 Техніка безпеки та протипожежний захист в експлуатації	63

					ПННІ НУК 131.61.22.02 ПЗ						
Зм.	Арк..	№ документа	Підпис	Дата	Пояснювальна записка			Літера	Лист	Листів	
Розробив	Дударчук Є.С							н	З	69	
Перевірів	Нестеренко В.В							61-ТЕМмаг-21			
Рецензент	Каіров О.С.										
Н. контр	Нестеренко В.В										
Затвердив	Нестеренко В.В										

4.3 Охорона навколишнього середовища	66
4.4 Висновок по розділу 4	67
ВИСНОВКИ	68
ЛІТЕРАТУРА	69

ДОДАТКИ:

- Додаток 1 Специфікації складальних креслень
- Додаток 2 Електростанція на базі двигуна 6ГЧН 25/34
- Додаток 3 Поздовжній переріз двигуна 6ГЧН 25/34
- Додаток 4 Поперечний переріз двигуна 6ГЧН 25/34
- Додаток 5 Кришка циліндра двигуна 6ГЧН 25/34
- Додаток 6 Колектор впускний двигуна 6ГЧН 25/34
- Додаток 7 Змішувач
- Додаток 8 Заслінка
- Додаток 9 Схема подачі газу двигуна 6ГЧН 25/34
- Додаток 10 Технологічний процес складання заслінки

					<i>ПННІ НУК 131.61.22.02 ПЗ</i>	Лист
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

ВСТУП

У зв'язку з обмеженістю запасів невідновлюваних природних ресурсів (у першу чергу нафти) на Землі, останнім часом більшість провідних країн світу звернула увагу на альтернативні джерела енергії, які можна використовувати замість традиційних моторних палив. Ще однією причиною підвищеної уваги до нетрадиційних моторних палив є здатність деяких із них (природного газу, водню, оксигенатних біопалив тощо) відновлюватись.[2]

У світлі розглянутих проблем дефіциту енергоресурсів і задач оздоровлення екології у всіх розвинених країнах ведеться напружений пошук та адаптація до умов експлуатації заміників традиційних видів палив – так званих альтернативних палив [3,4], які умовно можна поділити на чотири категорії:

- традиційне нафтове паливо (бензин, дизельне паливо) з додаванням синтетичних компонентів, які покращують ті чи інші властивості цих палив або зменшують їх витрату;
- синтетичні палива, які отримують шляхом переробки кам'яного вугілля, горючих сланців, природного газу;
- водень, електроенергія;
- спиртові палива, олії, біогаз, природний та нафтовий гази.

Вирішення проблем переробки відходів сільськогосподарського походження відкрило новий перспективний напрям у конструюванні техніки та обладнання для агропромислового комплексу. Зараз відбувається стрімкий процес впровадження у виробництво інноваційних технологій ресурсозберігання. Австрія, Італія, Китай, Німеччина, Польща, Чехія та інші країни за останні 20 років зробили значний крок у використанні поновлювальних джерел енергії та продовжують розвивати свої науково-технічні досягнення у галузі альтернативної енергетики. [1]

Ще у XVII ст. Ян Баптист Ван Гельмонт виявив, що біомаса, яка розкладається, виділяє займисті гази. Алессандро Вольта в 1776 році прийшов до

					ПННІ НУК 131.61.22.02 ПЗ	Лист
						5
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

висновку про існування залежності між кількістю біомаси, яка розклалася, і кількістю газу, що виділився. У 1808 році сер Хемфрі Деві виявив метан у біогазі.

Перша задокументована біогазова установка була побудована в Бомбеї (Індія) в 1859 році. У цьому ж році біогаз почав застосовуватися у Великобританії для вуличного освітлення.

Ринок біогазу на сьогодні найбільш розвинений у Європі, адже саме розвинені країни ЄС першими впровадили програми переходу до альтернативних джерел енергії та планомірно підтримували ініціативи, спрямовані на впровадження нових біогазових технологій. [1]

У європейській практиці 75% біогазу виробляється з відходів сільського господарства, 17% - з органічних відходів приватних домогосподарств і підприємств, ще 8% - з муніципальних каналізаційних стоків та каналізаційних стоків окремих виробництв.

Сьогодні перше місце за кількістю біогазових комплексів, що працюють, належить Німеччині. Тільки 7% виробленого цими підприємствами біогазу надходить у газопроводи, решта використовується для потреб виробника. У перспективі 10–20% природного газу, який використовується у країні, може бути замінений біогазом. З погляду масштабів застосування біогазу лідирує Данія: цей вид палива забезпечує майже 20% енергоспоживання країни. [1]

Біогаз, що отримують внаслідок бродіння біомаси. Розклад біомаси проходить під дією трьох видів бактерій. У ланцюгу харчування бактерії харчуються продуктами життєдіяльності попередніх. Перший вид – бактерії гідролізни, другий – кислотоутворюючі, третій – метаноутворюючі.

Склад біогазу: 55 - 75 % метану, 25 - 45 % CO₂, незначні домішки H₂ та H₂S. Після очистки біогазу від CO₂ отримують біометан. Біометан — повний аналог природного газу, різниця лише у походженні.[5]

Двигуни внутрішнього згоряння (ДВЗ) отримали досить широке поширення у світі. За відповідними літературними джерелами в енергетичному балансі розвинених країн ДВЗ складають біля 80% від сумарної потужності, що

					ПННІ НУК 131.61.22.02 ПЗ	Лист
						6
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

виробляється енергоустановками. Однак, серед ДВЗ значне місце займають саме дизелі. Дизелі установлюють на всіх видах сільськогосподарської техніки, більшій частині вантажного автотранспорту та від недавнього часу і на автобусах малого класу. Перспектива використання дизельних двигунів обумовлює актуальність досліджень, присвячених проблемі використання в ньому біогазу, виготовленого в результаті переробки сільськогосподарської продукції.

Сучасні технології переробки сільськогосподарської продукції спрямовані на утилізацію органічних відходів або їх переробку в готову продукцію (наприклад: біологічно активні добрива, кормові добавки, біостимулятори, біогаз тощо) [1-3].

Мета роботи - дослідження індикаторних та ефективних показників дизельного двигуна при біогазу.

Завданням роботи є розрахунок робочого процесу дизельного двигуна, який працює на важкому паливі, аналітичним методом. Визначення впливу виду палива на ефективні та індикаторні показники двигуна, що проектується, в порівнянні з двигуном-прототипом, а також розробка системи подачі біогазу..

Об'єкт дослідження - газовий двигун 6ГЧН25/34, який випускається підприємством ТДВ «ПЕРВОМАЙСЬКДИЗЕЛЬМАШ», місто Первомайськ, Миколаївська обл., Україна

Апробація результатів дослідження – доповідь на VII Міжнародній науково-технічній конференції «Актуальні проблеми інженерної механіки та технології машинобудування», що відбулася 23–24 листопада 2022 року в Національному університеті кораблебудування імені адмірала Макарова (м. Миколаїв) [13].

					ПННІ НУК 131.61.22.02 ПЗ	Лист
						7
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

1.1. Інформація про об'єкт використання двигуна

Автоматизований двигун-генератор ДвГА-430/600 призначений для використання на електростанціях в якості основного або допоміжного джерела електроенергії змінного трифазного струму в режимі автономної або паралельної роботі між собою чи з промисловою мережею.

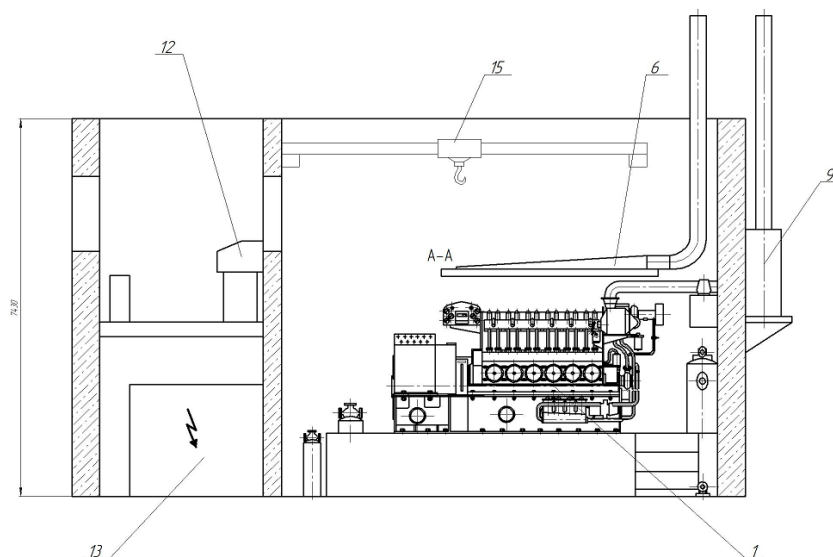


Рисунок 1.1 Електростанція на базі двигуна 6ГЧН 25/34

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

Номінальна потужність двигун-генератора 430 кВт, номінальна частота обертання 600 хв^{-1} , питома витрата газового палива $0,28 \text{ м}^3/\text{кВт}\cdot\text{г}$.

Стаціонарна автоматизована електростанція потужністю 430кВт на базі двигун-генератора ДвГА-430, розміщена в спеціальному приміщенні, призначена для використовування як основне та резервне джерело електропостачання трифазним змінним струмом для промислових і комунальних об'єктів. Режим роботи – автономний або паралельний з електричною мережею необмеженої потужності.

					ПННІ НУК 131.61.22.02 ПЗ	Лист
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

Електростанція забезпечує тривалу надійну роботу за наступних умов:

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

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

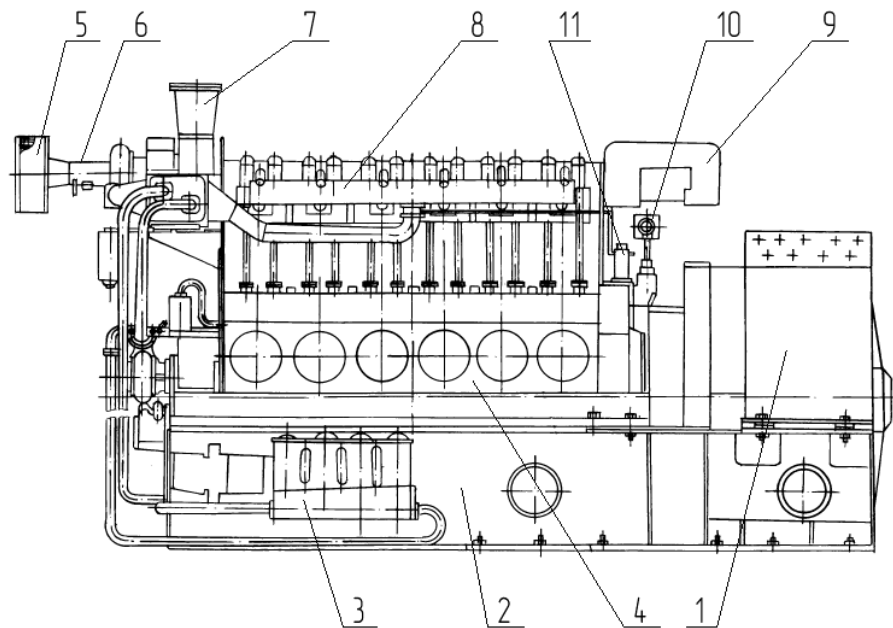


Рисунок 1.2 Двигун-генератор ДвГА 430/600

1 – генератор; 2 – рама; 3 – фільтр масла повнопотоковий; 4 – двигун; 5 – фільтр-глушник; 6 – змішувач; 7 – турбокомпресор; 8 – колектор впускний; 9 – щит приладів; 10 – тахометр; 11 – регулятор швидкості.

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

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

					ПННІ НУК 131.61.22.02 ПЗ	Лист
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

Над щитовим приміщенням, на другому поверсі розташований, звукоізований пост керування, що має гарний огляд машинного приміщення. Він 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, повітря, також контролюється частота обертання колінчатого валу).

В машинному приміщенні біля двигуна, розташований бак мастила, газова шафа та розширювальний бачок води. Блок охолодження циркуляційної води зовнішнього контуру (мініградирня) та глушник-іскрогасник винесені з приміщення.

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

Машинне приміщення обслуговується 15-тонним мостовим краном, що має висячу колодку з кнопками керування. Також в машинному приміщенні встановлена автоматизована протипожежна система.

1.2. Опис конструкції базового двигуна

Двигун 6ГЧН25/34 – чотиритактний, тронковий, простої дії, з газотурбінним наддувом, нереверсивний і відноситься до складу середньо-оборотних двигунів. Дизель призначений для використання в якості приводу генератора.

Фундаментна рама відлита з чавуну, суцільна, ночноподібної форми, забезпечена поперечними перегородками, посилена ребрами. Внутрішня порожнина рами служить для збору мастила, яке стікає з деталей двигуна, і мастила після охолодження поршня. В постелях, розточених в поперечних перегородках рами і кришках, встановлюються вкладиші рамових підшипників колінчастого валу.

					ПННІ НУК 131.61.22.02 ПЗ	Лист
						10
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

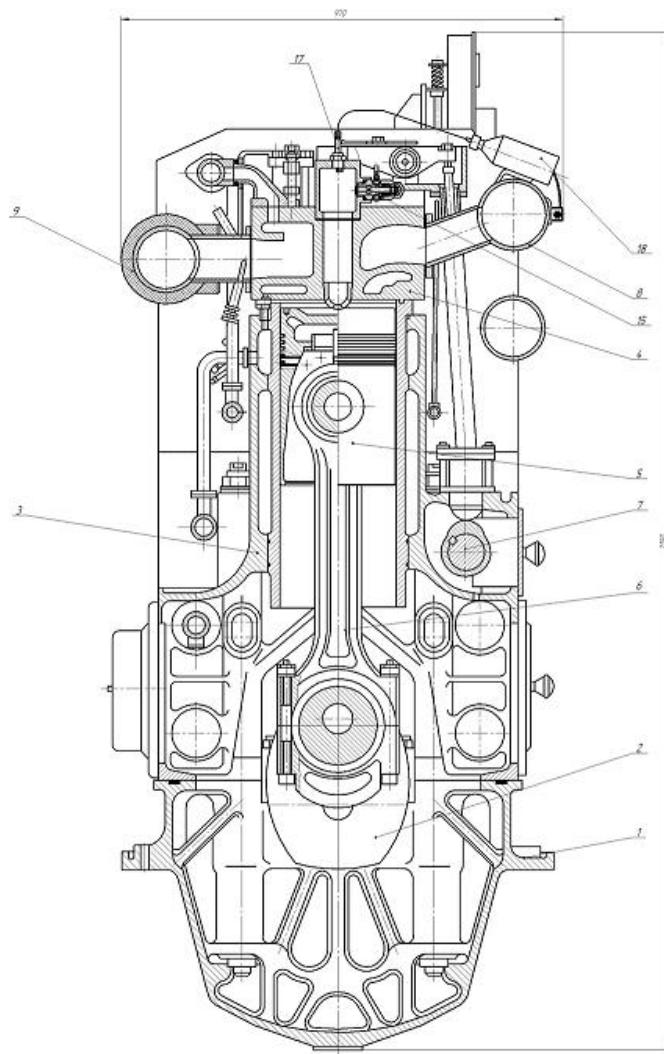


Рисунок 1.3 – Поперечний розріз двигуна 6ГЧН25/34

З обох боків по всій довжині, фундаментна рама має приливи з отворами для болтів кріплення двигуна до рами. З боку вільного кінця валу двигуна до рами кріпиться кришка, на яку встановлюються два водяних і один масляний насоси, а з боку маховика – кожух фланця колінчастого валу з масло відбивним кільцем і сальниковим ущільненням.

Блок-картер чавунний. У верхній частині блоку розміщені втулки робочих циліндрів. Простір між втулками і стінками блоку служить для циркуляції холодної води. Порожнина охолодження ущільнюється мідною прокладкою, що встановлюється під верхній борт втулки і двома гумовими кільцями, розташованими в кільцевих виточках нижнього поясу втулки робочого циліндру.

					ПННІ НУК 131.61.22.02 ПЗ	Лист
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

В проточку на верхньому торці втулки робочого циліндра встановлюється мідна прокладка. В отворах поперечних перегородок встановлюються анкерні пов'язі. Нижня частина блоку є частиною картера двигуна. Зі сторони розподілення по всій довжині блоку є горизонтальна полиця, на якій встановлені корпуси штовхачів впускних і випускних клапанів.

В порожнині під полицею розташований підшипник розподільчого валу, один з яких (перший від маховика) упорний. Порожнина закрита щитами. Для доступу до механізму руху і рамових підшипників в нижній частині блоку з обох сторін є люки, що зачинені кришками, на яких встановлені запобіжні клапани.

До переднього торця блоку кріпиться кожух шестерень приводу насосів та щит з кронштейнами для встановлення турбокомпресора. До заднього торця блоку кріпляться валик з комплектом проміжних шестерень, кожух шестерень приводу розподільного валу і щит з кронштейном для встановлення щита приладів.

У верхню полицю блоку вкручені шпильки для кріплення кришок робочих циліндрів. Верхня частина бокових сторін блоку закрита щитами. Кожен рамовий підшипник складається з нижнього і верхнього вкладишів. Вкладиші сталевобабітові. Від обертання і осьового зміщення вкладиші утримуються виступами.

Втулка робочого циліндра виготовлена з чавуну, вставна. Нижній кінець втулки не закріплений і вона вільно подовжується при нагріванні під час роботи двигуна. У проточку на верхньому торці встановлюються мідні прокладки для ущільнення камери згоряння. Під час роботи двигуна, втулки змащуються мастилом, яке подається на дзеркало втулки циліндра рухомими частинами колінчастого валу та шатуна. Для кращого прироблення циліндро-поршневої групи (ЦПГ) двигуна внутрішня поверхня втулки фосфатується.

Кришка робочого циліндру виготовлена з чавуну, окрема для кожного циліндру, кріпиться до блок-картеру чотирма шпильками. На днищі кришки є борт, який входить в проточку на втулці робочого циліндру. Під борт для ущільнення камери згоряння встановлюється прокладка з відпаленої червоної

					ПННІ НУК 131.61.22.02 ПЗ	Лист
						12
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

міді. Вибором товщини прокладки встановлюється висота камери згоряння. На стояках встановлена вісь, на якій розташовані два коромисла для приводу клапанів.

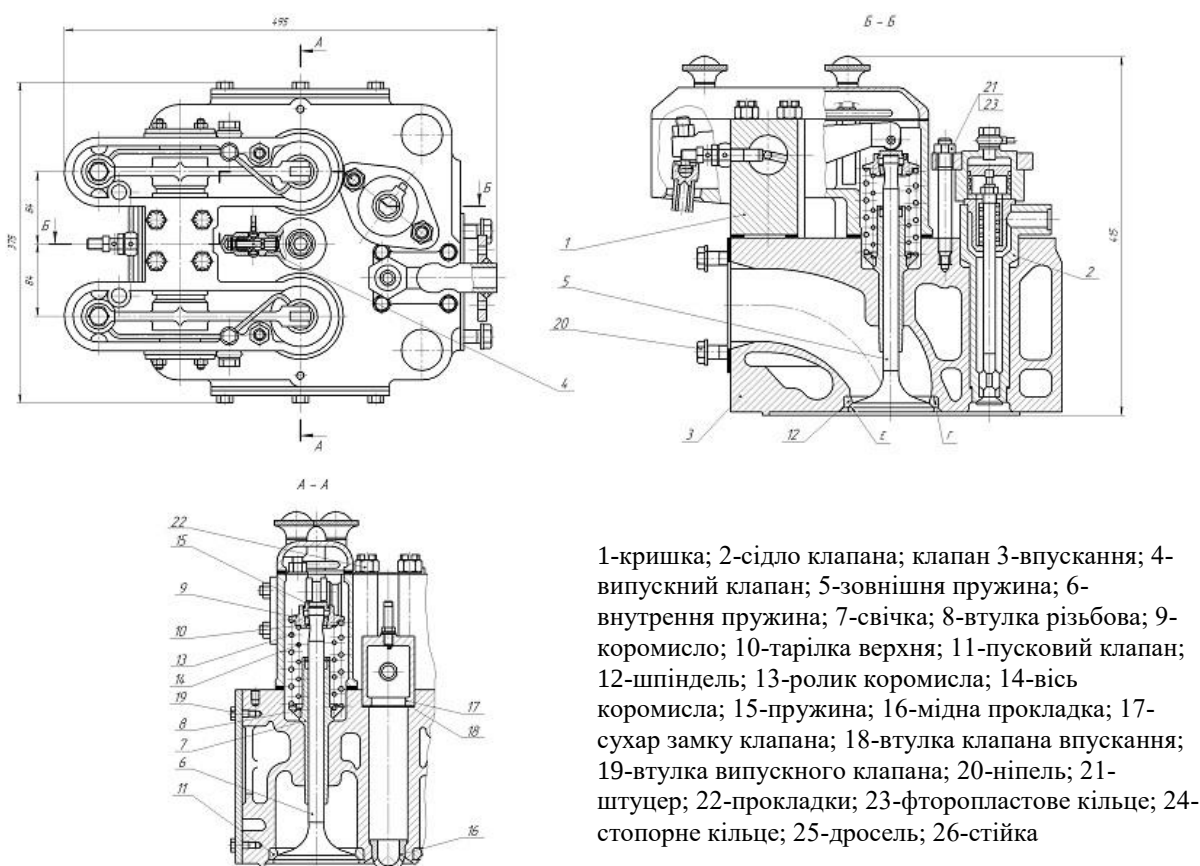


Рисунок 1.4 Кришка робочого циліндра.

Форсунка кріпиться до кришки спеціальною скобою, ущільнення форсунки у вогняному днищі мідною прокладкою. Порожнина палива відокремлена від масляної, є спеціальний дренаж. Паливопроводи тиску і охолодження форсунок прокладені під закриттям кришки циліндра, що складається з корпусу закриття і легко знімної кришки. На кришці змонтовані пусковий клапан, запобіжний клапан і індикаторний кран, які встановлені на спеціальному фланці.

Колінчастий вал сталевий, суцільно кований, має сім рамових і шість шатунних шийок, при цьому остання рамова шийка не використовується. Кривошипи дизеля 6ЧН 25/34 розташовані по відношенню один до одного під кутом 90°. Мастило з канавок рамових підшипників поступає до шатунних підшипників по каналах, які з'єднують рамові шийки з шатунами, минаючи

					ПННІ НУК 131.61.22.02 ПЗ	Лист
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

внутрішні порожнини шийок. На передньому кінці валу встановлені шестерні приводу масляного і водяного насосів. Маховик переднього торця за допомогою шпонки з'єднаний з колінчастим валом і утримується від осьового зміщення упорним кільцем з одного боку і буртом колінчастого валу з іншого. На задньому кінці валу є опорна кільцева поверхня на яку насаджена шестерня колінчастого валу, яка призначена для приводу розподільного валу через проміжну пару шестерень.

Шатун виготовлений з вуглецевої сталі. Стрижень шатуна двотаврового перетину має в центрі канал. У верхній головці шатуна проти каналу виконана кільцева канавка, а в нижній головці – канали, по яких мастило з шатунного підшипника потрапляє в головний.

Поршень суцільнолитий, овальний, виготовлений з чавуну, охолоджуваний і має канавки, в які встановлюються компресійні і маслосборні кільця. У днищі поршня виконана камера згорання і є різьбові отвори під рими для виїмки поршня з шатуном. Поршень і шатун з'єднуються сталевим, порожнистим поршневим пальцем. Зовнішня поверхня пальця цементована і загартована. Від осьового переміщення палець утримується стопорними кільцями, встановленими в кільцевих канавках бобишок поршня.

Форсунка призначена для розпилювання палива, що подається в камеру згорання газодизеля. Форсунка закритого типу, двох пружинна з гідравлічним управлінням підйому голки і охолоджуванням розпилювача.

Трубопроводи високого тиску сполучені між собою колектором, через який відбувається скидання палива, що поступає в нього при розриві будь-якого з трубопроводів високого тиску, у витратний бак через клапан.

Витоки палива з форсунок по трубках поступають в колектор відвідний і по трубопроводу зливаються в бак палива. Для підтримки в паливній системі надмірного тиску в колекторі відведення палива після охолодження форсунок у витратний паливний бак встановлений редукційний клапан, відрегульований на тиск $1,0 \pm 0,4$ кГс/см² по манометру на щиті приладів.

					ПННІ НУК 131.61.22.02 ПЗ	Лист
						14
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для оберігання трубопроводів від руйнування на паливному насосі встановлений редукційний клапан, відрегульований на тиск $3,0 \pm 0,2$ кГс/см² по манометру на щиті приладів.

Система мащення двигунів комбінована, під тиском і розбризкуванням. Під час роботи двигуна система забезпечує безперебійне надходження мастила до всіх деталей і вузлів.

Система охолодження двигуна 2-х контурна, що складається із зовнішнього і внутрішнього контуру. Двигун охолоджується прісною водою, яка циркулює усередині двигуна. У свою чергу вода внутрішнього контуру охолоджується проточною водою зовнішнього контуру в охолоджувачі води. Система забезпечує стабільний температурний режим у всьому діапазоні навантажень. У систему охолодження входять: відцентрові насоси внутрішнього і зовнішнього контурів, регулятор температури води (РТП), охолоджувач води, бачок води (розширювальний), трубопроводи системи.

					ПННІ НУК 131.61.22.02 ПЗ	Лист
						15
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ

2.1 Вимоги до проектованого двигуна

Метою проектування є перехід двигуна з природного газу на біогаз. Такі зміни дозволяють прогнозувати змінення ефективних та індикаторних показників двигуна, що проектується.

В якості прототипу обрано дизельний двигун 6ГЧН 25/34 з потужністю 500 кВт, що працює на газовому паливі.

Розрахунковий цикл поршневого двигуна внутрішнього згоряння значно відрізняється від ідеальних циклів. В розрахунковому циклі двигуна внутрішнього згоряння змінюється кількість робочого тіла, його склад і фізичні властивості. В розрахунковому циклі робоче тіло не можна приймати з постійними теплоємностями, так як температура та состав газів в циліндрі значно змінюються. В розрахунковому циклі також мають місце теплові та аеродинамічні втрати.

Метод теплового розрахунку заснований на загально відомих положеннях термодинаміки та термохімії, достатньо повно охоплює сутність теплових явищ, що протікають в робочому циліндрі і представляє собою інженерне аналітичне дослідження. На його основі можливо:

- кількісно оцінити ці явища як при проектуванні так і при дослідженні побудованого двигуна;
- дати уяву об основних параметрах циклу та факторах, що впливають на процеси робочого циклу;
- визначити розрахункові значення параметрів стану робочого тіла в характерних точках розрахункового циклу, а також ефективні показники, що характеризують роботу двигуна в цілому.

Метод забезпечує достатню задовільну для практики точність розрахунків, не дивлячись на те, що цикл, що проходить в двигуні описується найпростішими термодинамічними процесами і вводиться ряд коефіцієнтів, які оцінюють реальні

					ПННІ НУК 131.61.22.02 ПЗ	Лист
						16
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

умови протікання робочих процесів в двигуні.

Значення параметрів для розрахунку робочого процесу обираємо відповідно даних, що наводяться в довідковій літературі [10].

Крім відпрацьовування параметрів робочого циклу двигуна, що забезпечують високий ефективний ККД, необхідно раціонально сконструювати системи двигуна, вибрати оптимальний режим охолодження і т.д.

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

Застосування двигуна в складі електростанції обумовлює такі параметри як частота обертання і потужність, вимоги до системи регулювання частоти обертання особливо жорсткі, тому що необхідно забезпечити усталену роботу на всіх режимах при навантажувальній характеристиці для забезпечення частоти струму 50 Гц.

Основні параметри двигуна прототипу

Двигун проектується на базі газового двигуна 6ГЧН 25/34, його основні параметри наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Основні параметри двигуна 6 ГЧН 25/34

Найменування параметра	Од. вим.	Значення
Частота обертання колінчастого валу	об/хв	600
Середній ефективний тиск	кПа	1080
Ефективна потужність	кВт	500
Питома ефективна витрата палива	м ³ /кВт·г	0,28

					ПННІ НУК 131.61.22.02 ПЗ	Лист
						17
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2 Розрахунок робочого процесу газового двигуна.

1. Умова завдання:

Ефективна потужність	$P_e =$	450	кВт
Частота обертання колінчастого валу.	$n =$	600	хв ⁻¹
Діаметр циліндра	$d =$	250	мм
Хід поршня	$S =$	340	мм
Ступінь стиску	$\varepsilon =$	8	
Коефіцієнт надлишку повітря	$\alpha =$	1,7	
Число циліндрів	$i =$	6	
Коефіцієнт тактності	$z =$	4	

2. Вихідні дані для теплового розрахунку.

Тиск наддуву	$p_b =$	185	кПа
Тиск навколишнього середовища	$p_a =$	101,3	кПа
Температура навколишнього середовища	$T_a =$	293	К
Показник політропи стиску для відцентрового компресора	$n_k =$	1,6	
Підігрів свіжого заряду	$\Delta T =$	5	К
Тиск залишкових газів	$p_r =$	200	кПа
Температура залишкових газів	$T_r =$	750	К
Ступінь підвищення тиску	$\lambda =$	2,5	
Середнє значення показника політропи:			
стиску	$n_1 =$	1,32	
розширення	$n_2 =$	1,27	
Коефіцієнт використання теплоти в точці "Z"	$\xi_z =$	0,85	
Коефіцієнт повноти індикаторної діаграми	$\xi =$	0,9	
Нижча теплота згорання біогазу	$Q_H =$	21350	кДж/м ³

Склад:	в %		В об'ємних долях	
метан	$CH_4 =$	59	$R_{CH_4} =$	0,59
етан	$C_2H_6 =$	0	$R_{C_2H_6} =$	0
пропан	$C_3H_8 =$	0	$R_{C_3H_8} =$	0
бутан	$C_4H_{10} =$	0	$R_{C_4H_{10}} =$	0
пентан	$C_5H_{12} =$	0	$R_{C_5H_{12}} =$	0
вуглекислота	$CO_2 =$	38	$R_{CO_2} =$	0,38
оксид вуглецю	$CO =$	0	$R_{CO} =$	0
азот	$N_2 =$	1	$R_{N_2} =$	0,01

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

3. Параметри робочого тіла.

Теоретично необхідна кількість повітря для згоряння 1 кмоль газу.

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

$$L_0 = 5,67 \text{ кмоль/кмоль}$$

Загальна кількість продуктів свіжого заряду.

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

$$M_1 = 10,63 \text{ кмоль/кмоль}$$

Кількість окремих компонентів продуктів згоряння.

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

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

$$\begin{aligned} \text{Кількість } O_2: \quad M_{O_2} &= 0.21 \times (\alpha - 1) \times L_0, \text{ кмоль} \\ M_{O_2} &= 0,833 \text{ кмоль} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Кількість } N_2: \quad M_{N_2} &= 0.79 \times \alpha \times L_0 + N_2, \text{ кмоль} \\ M_{N_2} &= 7,620 \text{ кмоль} \end{aligned}$$

Загальна кількість продуктів згоряння.

$$M_2 = M_{CO_2} + M_{H_2O} + M_{O_2} + M_{N_2}, \text{ кмоль/кг} \quad 12,123 \text{ кмоль}$$

Змінення об'єму при згорянні 1 кмоль газу.

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

$$\Delta M = 1,49 \text{ кмоль}$$

Теоретичний коефіцієнт молекулярної зміни.

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

$$\beta_0 = 1,1401$$

4. Параметри процесу наповнення.

Температура повітря після нагнітача.

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

					ПННІ НУК 131.61.22.02 ПЗ	Лист
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

$$T_B = 367,2 \text{ K}$$

Температура повітря після охолоджувача.

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

$$\text{число з інтервалу} = 30$$

$$\Delta T_{\text{int}} = 337,2 \text{ K}$$

Температура газоповітряної суміші.

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

$$T_{\text{см}} = 321,6 \text{ K}$$

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

Коефіцієнт залишкових газів.

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

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

$$P_d = 175,8 \text{ кПа}$$

$$\gamma_r = 0,072$$

Коефіцієнт наповнення.

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

$$\varphi_n = 0,92$$

Температура газоповітряної суміші на початку стиску.

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

$$T_d = 355 \text{ K}$$

5. Параметри процесу стиску.

Тиск в кінці стиску.

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

$$P_c = 2735,1 \text{ кПа}$$

Температура в кінці стиску.

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

$$T_c = 690,9 \text{ K}$$

$$t_c = 417,9^\circ \text{C}$$

6. Параметри процесу згоряння.

Дійсний коефіцієнт молекулярної зміни.

		.			ПННІ НУК 131.61.22.02 ПЗ	Лист
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

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

$$\beta = 1,1307$$

Максимальна температура циклу знаходиться з рівняння балансу:

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

склад продуктів згорання в об'ємних долях:

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

$$R_{CO_2} = 0,2054$$

$$R_{CO_2} = \frac{M_{H_2O}}{M_2}$$

$$R_{H_2O} = 0,0973$$

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

$$R_{O_2} = 0,0687$$

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

$$R_{N_2} = 0,6286$$

Мольна теплоємність продуктів згорання:

$$m C_{v_{me}} = R_{O_2} \cdot m C_{v_{O_2}} + R_{N_2} \cdot m C_{v_{N_2}} + R_{H_2O} \cdot m C_{v_{H_2O}} + R_{CO_2} \cdot m C_{v_{CO_2}}$$

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

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

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

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

Після підстановки одержимо рівняння.

$$m C_{v_{me}} = a + b \cdot 10^{-5} \cdot t_z$$

де:

$$a = 18,93$$

$$b = 511,89$$

теплоємність газового палива.

					ПННІ НУК 131.61.22.02 ПЗ	Лист
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

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

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

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

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

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

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

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

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

Після підстановки одержимо рівняння.

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

де:

$$a = 18,84$$

$$b = 3447,91$$

мольна теплоємність газоповітряної суміші при постійному об'ємі.

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

Після підстановки одержимо рівняння.

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

де:

$$a = 20,15$$

$$b = 513,91$$

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

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

Після підстановки одержимо рівняння.

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

де:

$$a = 20,15$$

$$b = 256,95$$

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

					ПННІ НУК 131.61.22.02 ПЗ	Лист
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

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

Після підстановки одержимо рівняння.

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

де:

$$a = 29,162$$

$$b = 535,827$$

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

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

$$a = 29,162$$

$$b = 267,914$$

Максимальна температура процесу згоряння.

Після підстановки одержимо квадратне рівняння.

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

де:

$$A = 302,926$$

$$B = 32,973$$

$$C = 53018,32$$

Звідки:

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

$$t_z = 1422,1 \text{ C} \quad T_z = 1695,1 \text{ K}$$

Максимальний тиск згоряння.

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

$$p_{\max} = 7588,0 \text{ кПа}$$

Ступінь підвищення тиску

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

$$\lambda = 2,77$$

$$\Delta \lambda = 10,97 \%$$

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

Ступінь попереднього розширення.

					ПННІ НУК 131.61.22.02 ПЗ	Лист
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

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

$$\rho = 1$$

7. Параметри процесу розширення.

Ступінь подальшого розширення.

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

$$\delta = 8$$

Тиск в кінці розширення.

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

$$p_{\delta} = 541,0 \text{ кПа}$$

Температура в кінці розширення.

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

$$T_{\delta} = 966,9 \text{ К}$$

Середня температура випускних газів.

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

$$T_{\text{ср.г.}} = 780,0 \text{ К}$$

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

Температура залишкових газів.

$$T_r = \frac{T_{\delta}}{\sqrt{\frac{P_{\delta}}{P_r}}}$$

$$T_r = 693,9 \text{ К}$$

$$\text{Перевірка: } \frac{|T_r^3 - T_r|}{T_r^3} \times 100 \% = 7,48 \%$$

8. Індикаторні показники робочого процесу.

Середній теоретичний індикаторний тиск.

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

					ПННІ НУК 131.61.22.02 ПЗ	Лист
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

$$P_{mi} = 1018,34 \text{ кПа}$$

Індикаторний ККД.

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

$$\eta_i = 0,38$$

Питома індикаторна витрата газу.

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

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

9 Ефективні показники робочого циклу.

Середній тиск механічних втрат.

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

Середня швидкість поршня.

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

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

$$V_{П.СР} = 6,8 \text{ м/с}$$

$$P_M = 117,8 \text{ кПа}$$

Середній ефективний тиск.

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

$$P_{me} = 900,57 \text{ кПа}$$

Механічний К.К.Д.

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

$$\eta_M = 0,88$$

Ефективний К.К.Д.

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

$$\eta_e = 0,332$$

Питома ефективна витрата газу.

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

					ПННІ НУК 131.61.22.02 ПЗ	Лист
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

$$b_e = 0,508 \text{ м}^3/(\text{кВт} \cdot \text{год})$$

Годинна витрата газу.

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

$$B = 228,5 \text{ м}^3/\text{год}$$

10 Основні розміри циліндра і двигуна.

Літраж двигуна.

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

$Z = 4$ - Коефіцієнт тактності.

$$V_{st} = 99,94 \text{ Л}$$

$$V_s = \frac{V_{st}}{i}, \text{ Л}$$

$$V_s = 16,66 \text{ Л}$$

Діаметр циліндра.

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

$$m = \frac{S_{пп}}{d_{пп}}$$

$$d_{пп} = 0,25 \text{ м}$$

$$m = 1,36$$

$$d = 249,9 \text{ мм}$$

Хід поршня.

$$S = m \times d, \text{ мм}$$

$$S = 339,8 \text{ мм}$$

11 Уточнені розміри циліндра двигуна.

Діаметр циліндра.

$$d = 250 \text{ мм}$$

Хід поршня.

$$S = 340 \text{ мм}$$

Літраж двигуна.

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

$$V_{st} = 100,09 \text{ Л}$$

Робочий об'єм ходу поршня.

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

$$V_s = 16,68 \text{ Л}$$

					ПННІ НУК 131.61.22.02 ПЗ	Лист
						26
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ефективна потужність двигуна.

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

$$P_{ep} = 450,7 \text{ кВт}$$

Отримана величина P_{ep} відрізняється від заданої на:

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

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

$$P_{esp} = 450,3 \text{ кВт}$$

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

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

					ПННІ НУК 131.61.22.02 ПЗ	Лист
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

2.3 Розрахунок теплового балансу

Вихідні дані:

ефективна потужність двигуна	$P_e =$	450,7 кВт
частота обертання колінвалу	$n =$	600 хв-1
діаметр циліндру	$D =$	250 мм
хід поршня:	$S =$	340 мм
число циліндрів:	$i =$	8
коефіцієнт тактності:	$Z =$	4
нижча теплота згорання газу:	$Q_H =$	21350 кДж/кг
годинна витрата газу:	$B_r =$	228,5 $m^3 / год$
Індикаторний к.к.д.:	η_i	0,38
ефективний к.к.д.:	η_e	0,33
кількість свіжого заряду	$M_1 =$	10,633 кмоль/кг
загальна кількість продуктів згорання	$M_r =$	12,123 кмоль/кг
температура випускних газів	$T_{ср.г.} =$	780,0 К
температура на початку стиску	$T_d =$	355,1 К
мольна теплоємність продуктів згорання при постійному об'ємі:	$mC_v =$	24,11 кДж/(кмоль*К)
мольна теплоємність свіжого заряду при постійному об'ємі:	$mC'_v =$	21,88 кДж/(кмоль*К)
середній індикаторний тиск:	$P_{mi} =$	1018,34 кПа

Рівняння теплового балансу.

Загальна кількість теплоти, введеної в двигун з паливом

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

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

Теплота, яка підводиться в циліндр двигуна з паливом:

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

$$Q_{II} = 1355,3 \text{ кВт}$$

у відсотковому відношенні q_{II} приймаємо за 100%

Теплота, еквівалентна ефективній роботі двигуна:

$$Q_e = 1000 \cdot P_e$$

$$Q_e = 450,7 \text{ кВт}$$

					ПННІ НУК 131.61.22.02 ПЗ	Лист
						28
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

у відсотковому відношенні

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

$$q = 33,3 \%$$

Перевірка: $Q'_e = Q_n \cdot \eta_e$

$$Q'_e = 450 \text{ кВт}$$

Вираховуємо похибку

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

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

похибка не перевищує 1%

Теплота, яка відводиться охолоджувальною рідиною:

$$Q_s = Q_w + Q_{г.п.} + Q_{в.н.}$$

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

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

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

Теплообмін між робочим тілом і стінками циліндра.

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

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

З експериментальних даних:

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

$$W_{ст.} = 0 \quad W_{вип.} = 0,01-0,07 \quad 0,02$$

$$Q_w = 149,1 \text{ кВт}$$

Теплота, еквівалентна роботі на тертя поршня по гільзі циліндра.

Середній тиск механічних втрат в механізмах двигуна.

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

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

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

$$C_m = 6,8 \text{ м/с}$$

$$P_{мд} = 168,24 \text{ кПа}$$

Середній тиск тертя поршня:

$$P_{ср.т.} = 0,6 \cdot P_{мд}$$

$$P_{ср.т.} = 100,94 \text{ кПа}$$

					ПННІ НУК 131.61.22.02 ПЗ	Лист
						29
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Потужність тертя поршнів двигуна:

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

де V_s - робочий об'єм циліндру.

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

$$V_s = 0,0167 \text{ м}^3$$

$$P_n = 67,4 \text{ кВт}$$

Теплота, еквівалентна роботі тертя поршнів:

$$Q_{T.П.} = P_{П.}$$

$$Q_{T.П.} = 67,4 \text{ кВт}$$

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

$$Q_B = Q_W + Q_{T.П.}$$

$$Q'_B = 216,4 \text{ кВт}$$

тоді витрата охолоджуючої рідини:

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

$K = 1,2-1,5$ - коефіцієнт запасу.

$$K = 1,5$$

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

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

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

$$\Delta T_e = 10 \text{ К}$$

$$V_B = 0,0077 \text{ м}^3/\text{с}$$

Потужність, яка використовується на привід водяного насосу.

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

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

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

$$\eta_{в.н.} = 0,6$$

$$P_{в.н.} = 1,27 \text{ кВт}$$

Тоді $Q_{в.н.} = 1,27 \text{ кВт}$

Загальна кількість теплоти, яка відводиться охолоджувальною рідиною.

$$Q_e = Q_W + Q_{T.П.} + Q_{в.н.}$$

$$Q_e = 217,7 \text{ кВт}$$

					ПННІ НУК 131.61.22.02 ПЗ	Лист
						30
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

що складає у відсотковому відношенні:

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

$$q_v = 16,06 \%$$

Теплота, яка виноситься випускними газами:

$$Q_r = \frac{B_r}{36 \times 224} \left[M_2 \cdot (mC_p'')_{T_0}^{T_{cp2}} \cdot T_{cp2} - M_1 \cdot (mC_p')_{T_0}^{T_d} \cdot T_d \right]$$

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

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

$$mC_p'' = 32,42 \text{ кДж/(кмоль} \cdot \text{К)}$$

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

$$Q_r = 665,6 \text{ кВт}$$

Що складає у відсотковому відношенні:

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

$$q_r = 49,11 \%$$

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

Теплота, яка відводиться маслом, від гарячих деталей двигуна.

$$Q_{MD} = (Q_w + Q_{MD}) - Q_e$$

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

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

$$\Delta_{MD} = 0,0620$$

тоді

$$Q_{MD} = 84,1 \text{ кВт}$$

$$Q_{M1} = 15,4 \text{ кВт}$$

Теплота, еквівалентна роботі на привід насоса системи мащення.

Витрата циркуляційного масла.

$$V_M = \frac{K \cdot Q_{M1}}{\rho_M \cdot C_{mm} \cdot \Delta T_M}$$

$K = 1,2 - 1,5$ - коефіцієнт запасу

$K = 1,5$

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

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

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

					ПННІ НУК 131.61.22.02 ПЗ	Лист
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

$$\Delta T_m = 8 \text{ K}$$

$$V_m = 0,0015 \text{ м}^3/\text{с}$$

потужність, яка використовується на привід масляного насоса:

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

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

$$P_0 = 400000 \text{ Па}$$

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

$$\eta_m = 0,7$$

$$P_{m.h.} = 0,88 \text{ кВт}$$

тоді $Q_{H2} = 1000 \cdot P_{MH}$

$$Q_{M2} = 0,9 \text{ кВт}$$

Загальна кількість теплоти складає:

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

$$Q_M = 16,3 \text{ кВт}$$

у відсотковому відношенні

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

$$q_M = 1,20 \%$$

Невраховані теплові втрати

$$Q_{H.B.} = Q_{II} (Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_M)$$

$$Q_{H.B.} = 5,0 \text{ кВт}$$

що складає у відсотковому відношенні:

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

$$q_{H.B.} = 0,37 \%$$

Всі отримані дані зведені в таблицю 2.5

Таблиця 2.5 Зведена таблиця теплового балансу.

Складові теплового балансу	кВт	%
теплота, еквівалентна ефективній роботі	450,7	33,3
теплота, яка відводиться охолоджувальною рідиною	217,7	16,1
теплота, яка виноситься випускними газами	665,6	49,1
теплота, яка відводиться маслом	16,3	1,2
невраховані теплові втрати	5,0	0,4
Загальна кількість теплоти, введеної в двигун з паливом	1355,3	100

2.4 Розрахунок індикаторної діаграми.

Розрахунок теоретичної індикаторної діаграми.

Вихідні дані

$P_{mi} =$	1,018 МПа	Середній індикаторний тиск.
$P_d =$	0,1758 МПа	Тиск в кінці впуску.
$n_1 =$	1,320	Показник політропи стиску.
$\varepsilon_c =$	8,000	Ступінь стиску.
$P_{max} =$	7,588 МПа	Максимальний тиск в циліндрі.
$n_2 =$	1,270	Показник політропи розширення.
$\rho =$	1,000	Ступінь попереднього розширення.
$m_p =$	0,030 МПа/мм	Масштаб по осі тиску.
$\xi =$	0,900	

Таблиця 2.3

Результати розрахунку.

V/V_c	$P_{CT}, \text{МПа}$	$P_{CT}, \text{мм}$	$P_{роз}, \text{МПа}$	$P_{роз}, \text{мм}$	$P_{cp}, \text{МПа}$
1	2,735	91,2	7,588	252,9	4,853
1,25	2,037	67,9	5,715	190,5	3,678
1,5	1,602	53,4	4,534	151,1	2,933
1,75	1,307	43,6	3,728	124,3	2,421
2	1,096	36,5	3,146	104,9	2,051
3	0,641	21,4	1,880	62,7	1,239
4	0,439	14,6	1,305	43,5	0,866
5	0,327	10,9	0,983	32,8	0,656
6	0,257	8,6	0,780	26,0	0,523
7	0,210	7,0	0,641	21,4	0,431
8	0,176	5,9	0,541	18,0	0,365
$P_{mi}^d =$					1,061

Об'єм камери згорання

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

$$V_s = [AB] = 190 \text{ мм}$$

$$V_c = 27,143 \text{ мм}$$

Приведений робочий об'єм

Похибка середнього індикаторного тиску.

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

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

$$P_{mi \text{ ср}} = 1,040 \text{ МПа}$$

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

Похибка не перевищує 5%

		.			ПННІ НУК 131.61.22.02 ПЗ	Лист
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

Побудова дійсної індикаторної діаграми.

$C', \text{ ДоВМТ}$ точка подачі іскри.

$f, \text{ ДоВМТ}$ Визначається кутом випередження запалювання
точка початку згорання, визначається кутом затримки
згорання: $\Delta\varphi_1 =, ^\circ \text{ ПКВ}$

$\Delta\varphi_2, \text{ ПісляВМТ}$ кут після ВМТ, де тиск максимальний

$b', \text{ ПісляВМТ}$ точка відкриття випускного клапану

$r', \text{ ДоВМТ}$ точка відкриття впускного клапану

$r'', \text{ ПісляВМТ}$ точка закриття випускного клапану

$d', \text{ ДоВМТ}$ точка закриття впускного клапану

c'' точка тиску газів в ВМТ в кінці такту стиску

Z_d точка максимального тиску газів

Вихідні дані.

$\lambda_L =$	0,250	Кривошипно-шатунне відношення.
$[AB]=$	190	мм Відстань від ВМТ до НМТ на діаграмі.
$\Delta \varphi_1 =$	10	$^\circ \text{ ПКВ}$ Кут затримки згорання.
$P_r=$	0,200	МПа Тиск залишкових газів.
$m_p=$	0,030	МПа/мм Масштаб тиску.
$S=$	340	мм Хід поршня.
$P_c=$	2,735	МПа Тиск в кінці стиску.
$P_{\max}=$	7,588	МПа Максимальний тиск.

Таблиця 2.4 Визначення точок дійсної індикаторної діаграми.

Позначка точки $\varphi^0, \text{ ПКВ}$	Положення точки відносно ВМТ, $\varphi^0, \text{ ПКВ}$	Постійна $X = (1 - \cos\varphi) + \frac{\lambda_L}{4} \times (1 - \cos 2\varphi)$	Відстань від ВМТ до точки $X \times \frac{[AB]}{2}, \text{ мм}$
$C', \text{ ДоВМТ}$	15	0,042	4,0
$f, \text{ ДоВМТ}$	5	0,005	0,5
$\Delta\varphi_2, \text{ ПісляВМТ}$	10	0,019	1,8
$b', \text{ ПісляВМТ}$	130	1,716	163,0
$r', \text{ ДоВМТ}$	10	0,019	1,8
$r'', \text{ ПісляВМТ}$	30	0,165	15,7
$d', \text{ ДоВМТ}$	150	1,897	180,2

Ордината точки г

$$\frac{P_r}{m_p}, \text{ мм} \quad 6,7 \quad \text{мм}$$

Тиск газів в ВМТ.

$$P_c'' = (1.15 - 1.25) \times P_c$$

1,2 Число з інтервалу.

$$\begin{aligned} P_c'' &= 3,28 \quad \text{МПа} \\ P_c'' &= 109,4 \quad \text{мм} \end{aligned}$$

Максимальний тиск згорання.

для карбюраторних і газових двигунів: $P_{zd} = P_{\max} * 0,85$

$$\begin{aligned} P_{zd} &= 6,45 \quad \text{МПа} \\ P_{zd} &= 215 \quad \text{мм} \end{aligned}$$

Поправка Брікса

$$OO' = \frac{R \cdot \lambda_L}{2}, \text{ мм}$$

$$OO' = 21,3 \quad \text{мм}$$

Масштаб переміщення

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

$$M_s = 1,79$$

Поправка Брікса в масштабі переміщення

$$OO = \frac{OO'}{M_s}, \text{ мм}$$

$$OO = 11,9 \quad \text{мм}$$

2.5 Динамічний розрахунок двигуна

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

Вихідні дані:

$d =$	0,25	м - діаметр циліндра
$s =$	0,34	м - хід поршня
$\lambda_L =$	0,250	- кривошипно-шатунне відношення
$r =$	0,17	м - радіус кривошипа
$n =$	600	хв^{-1} - частота обертання
$m_s =$	74,6	кг - маса деталей, що рухаються зворотно-поступально
$m_F =$	1,00	кН/мм - масштаб сил
$m_p =$	0,05	МПа/мм масштаб тиску.

Кутова швидкість

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

$$\omega = 62,8 \quad \text{с}^{-1}$$

Площа днища поршня

$$A = \frac{\pi \times d^2}{4}$$

$$A = 0,049 \quad \text{м}^2$$

Сила тиску газу

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

Сила інерції мас, що рухаються зворотно-поступально.

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

Сумарна сила (дійсна).

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

Нормальна сила.

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

Радіальна сила.

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

Дотична сила.

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

					ПННІ НУК 131.61.22.02 ПЗ	Лист
						37
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Сила інерції мас, що рухаються обертально.

$$F_{иоб} = -m_R r \omega^2, Н$$

$$F_{иоб} = -30,4 \quad \text{кН}$$

$$F_{иоб} = -30,4 \quad \text{мм}$$

Маса деталей, що рухаються обертально

$$m_R = 45,29 \quad \text{кг}$$

Тиск газів в залежності від кута повороту колінчастого вала

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

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

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

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

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

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

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

Робочий об'єм

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

Об'єм камери сгорання

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

Повний об'єм

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

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

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

					ПННІ НУК 131.61.22.02 ПЗ	Лист
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

Таблиця 2.5

Результати динамічного розрахунку.

φ	Vf	F _Г	Fи	Fd	FN	Fr	Fk	FГ	Fи	Fd	FN	Fr	Fk
ПКВ	МЗ	кН	кН	кН	кН	кН	кН	кН	кН	кН	кН	кН	кН
0	0,0021	3,653	-62,528	-58,875	0,000	-58,875	0,000	3,65	-62,53	-58,88	0,00	-58,88	0,00
10	0,0022	3,653	-61,014	-57,361	-2,480	-56,057	-12,415	3,65	-61,01	-57,36	-2,48	-56,06	-12,42
20	0,0027	3,653	-56,586	-52,933	-4,454	-48,187	-22,373	3,65	-56,59	-52,93	-4,45	-48,19	-22,37
30	0,0035	3,653	-49,574	-45,921	-5,544	-36,876	-27,971	3,65	-49,57	-45,92	-5,54	-36,88	-27,97
40	0,0045	3,653	-40,491	-36,838	-5,584	-24,365	-28,274	3,65	-40,49	-36,84	-5,58	-24,36	-28,27
50	0,0057	3,653	-29,982	-26,330	-4,634	-12,989	-23,472	3,65	-29,98	-26,33	-4,63	-12,99	-23,47
60	0,007	3,653	-18,758	-15,106	-2,930	-4,652	-14,757	3,65	-18,76	-15,11	-2,93	-4,65	-14,76
70	0,0085	3,653	-7,529	-3,876	-0,799	-0,445	-3,963	3,65	-7,53	-3,88	-0,80	-0,45	-3,96
80	0,01	3,653	3,065	6,718	1,431	-0,514	6,912	3,65	3,07	6,72	1,43	-0,51	6,91
90	0,0115	3,653	12,506	16,158	3,477	-4,172	16,158	3,65	12,51	16,16	3,48	-4,17	16,16
100	0,0129	3,653	20,438	24,090	5,130	-10,210	22,662	3,65	20,44	24,09	5,13	-10,21	22,66
110	0,0142	3,653	26,689	30,341	6,253	-17,268	26,003	3,65	26,69	30,34	6,25	-17,27	26,00
120	0,0154	3,653	31,264	34,917	6,774	-24,164	26,367	3,65	31,26	34,92	6,77	-24,16	26,37
130	0,0164	3,653	34,325	37,978	6,684	-30,089	24,330	3,65	34,33	37,98	6,68	-30,09	24,33
140	0,0172	3,653	36,148	39,801	6,033	-34,654	20,619	3,65	36,15	39,80	6,03	-34,65	20,62
150	0,0179	3,653	37,068	40,721	4,916	-37,830	15,917	3,65	37,07	40,72	4,92	-37,83	15,92
160	0,0184	3,653	37,426	41,079	3,457	-39,807	10,737	3,65	37,43	41,08	3,46	-39,81	10,74
170	0,0187	3,653	37,511	41,164	1,780	-40,849	5,387	3,65	37,51	41,16	1,78	-40,85	5,39
180	0,0188	3,653	37,517	41,170	0,000	-41,170	0,000	3,65	37,52	41,17	0,00	-41,17	0,00
190	0,0187	3,711	37,511	41,222	-1,782	-40,907	-5,394	3,71	37,51	41,22	-1,78	-40,91	-5,39
200	0,0184	3,889	37,426	41,315	-3,476	-40,036	-10,799	3,89	37,43	41,32	-3,48	-40,04	-10,80
210	0,0179	4,201	37,068	41,269	-4,982	-38,340	-16,132	4,20	37,07	41,27	-4,98	-38,34	-16,13
220	0,0172	4,670	36,148	40,818	-6,187	-35,540	-21,146	4,67	36,15	40,82	-6,19	-35,54	-21,15
230	0,0164	5,333	34,325	39,658	-6,979	-31,420	-25,406	5,33	34,33	39,66	-6,98	-31,42	-25,41
240	0,0154	6,245	31,264	37,509	-7,276	-25,958	-28,325	6,24	31,26	37,51	-7,28	-25,96	-28,32

ПННІ НУК 131.61.22.02 ПЗ

Лист

39

Продовження таблиці 2.5

250	0,0142	7,490	26,689	34,179	-7,044	-19,452	-29,292	7,49	26,69	34,18	-7,04	-19,45	-29,29
260	0,0129	9,194	20,438	29,632	-6,310	-12,558	-27,874	9,19	20,44	29,63	-6,31	-12,56	-27,87
270	0,0115	11,548	12,506	24,054	-5,176	-6,211	-24,054	11,55	12,51	24,05	-5,18	-6,21	-24,05
280	0,01	14,853	3,065	17,918	-3,816	-1,371	-18,436	14,85	3,07	17,92	-3,82	-1,37	-18,44
290	0,0085	19,583	-7,529	12,054	-2,484	1,385	-12,323	19,58	-7,53	12,05	-2,48	1,39	-12,32
300	0,007	26,502	-18,758	7,743	-1,502	2,385	-7,565	26,50	-18,76	7,74	-1,50	2,38	-7,56
310	0,0057	36,826	-29,982	6,844	-1,204	3,376	-6,101	36,83	-29,98	6,84	-1,20	3,38	-6,10
320	0,0045	52,369	-40,491	11,878	-1,800	7,856	-9,117	52,37	-40,49	11,88	-1,80	7,86	-9,12
330	0,0035	75,270	-49,574	25,697	-3,102	20,635	-15,652	75,27	-49,57	25,70	-3,10	20,64	-15,65
340	0,0027	105,938	-56,586	49,353	-4,153	44,928	-20,860	105,94	-56,59	49,35	-4,15	44,93	-20,86
350	0,0022	137,373	-61,014	76,359	-3,301	74,622	-16,527	137,37	-61,01	76,36	-3,30	74,62	-16,53
360	0,0021	253,239	-62,528	190,711	0,000	190,711	0,000	253,24	-62,53	190,71	0,00	190,71	0,00
370	0,0022	372,287	-61,014	311,273	13,458	304,196	67,372	372,29	-61,01	311,27	13,46	304,20	67,37
380	0,0027	258,419	-56,586	201,833	16,983	183,737	85,308	258,42	-56,59	201,83	16,98	183,74	85,31
390	0,0035	185,587	-49,574	136,014	16,420	109,223	82,847	185,59	-49,57	136,01	16,42	109,22	82,85
400	0,0045	131,202	-40,491	90,711	13,749	59,995	69,621	131,20	-40,49	90,71	13,75	60,00	69,62
410	0,0057	94,289	-29,982	64,307	11,317	31,724	57,327	94,29	-29,98	64,31	11,32	31,72	57,33
420	0,007	69,771	-18,758	51,012	9,896	15,709	49,834	69,77	-18,76	51,01	9,90	15,71	49,83
430	0,0085	53,338	-7,529	45,809	9,441	5,264	46,833	53,34	-7,53	45,81	9,44	5,26	46,83
440	0,01	42,106	3,065	45,171	9,620	-3,456	46,477	42,11	3,07	45,17	9,62	-3,46	46,48
450	0,0115	34,258	12,506	46,764	10,063	-12,074	46,764	34,26	12,51	46,76	10,06	-12,07	46,76
460	0,0129	28,667	20,438	49,105	10,457	-20,811	46,193	28,67	20,44	49,10	10,46	-20,81	46,19
470	0,0142	24,621	26,689	51,309	10,574	-29,202	43,974	24,62	26,69	51,31	10,57	-29,20	43,97
480	0,0154	21,664	31,264	52,928	10,267	-36,629	39,968	21,66	31,26	52,93	10,27	-36,63	39,97
490	0,0164	19,497	34,325	53,823	9,472	-42,642	34,480	19,50	34,33	53,82	9,47	-42,64	34,48
500	0,0172	17,924	36,148	54,072	8,196	-47,080	28,013	17,92	36,15	54,07	8,20	-47,08	28,01
510	0,0179	16,810	37,068	53,878	6,505	-50,054	21,061	16,81	37,07	53,88	6,50	-50,05	21,06
520	0,0184	16,070	37,426	53,495	4,501	-51,840	13,982	16,07	37,43	53,50	4,50	-51,84	13,98
530	0,0187	15,646	37,511	53,157	2,298	-52,750	6,956	15,65	37,51	53,16	2,30	-52,75	6,96

ПННІ НУК 131.61.22.02 ПЗ

Лист

40

Ізм.

Арк.

№ докум.

Підпис

Дата

Продовження таблиці 2.5

540	0,0188	12,613	37,517	50,130	0,000	-50,130	0,000	12,61	37,52	50,13	0,00	-50,13	0,00
550	0,0187	4,842	37,511	42,354	-1,831	-42,030	-5,542	4,84	37,51	42,35	-1,83	-42,03	-5,54
560	0,0184	4,842	37,426	42,268	-3,557	-40,960	-11,048	4,84	37,43	42,27	-3,56	-40,96	-11,05
570	0,0179	4,842	37,068	41,910	-5,060	-38,936	-16,382	4,84	37,07	41,91	-5,06	-38,94	-16,38
580	0,0172	4,842	36,148	40,990	-6,213	-35,690	-21,236	4,84	36,15	40,99	-6,21	-35,69	-21,24
590	0,0164	4,842	34,325	39,168	-6,893	-31,031	-25,092	4,84	34,33	39,17	-6,89	-31,03	-25,09
600	0,0154	4,842	31,264	36,107	-7,004	-24,988	-27,266	4,84	31,26	36,11	-7,00	-24,99	-27,27
610	0,0142	4,842	26,689	31,531	-6,498	-17,945	-27,023	4,84	26,69	31,53	-6,50	-17,95	-27,02
620	0,0129	4,842	20,438	25,280	-5,384	-10,714	-23,781	4,84	20,44	25,28	-5,38	-10,71	-23,78
630	0,0115	4,842	12,506	17,348	-3,733	-4,479	-17,348	4,84	12,51	17,35	-3,73	-4,48	-17,35
640	0,01	4,842	3,065	7,908	-1,684	-0,605	-8,136	4,84	3,07	7,91	-1,68	-0,61	-8,14
650	0,0085	4,842	-7,529	-2,686	0,554	-0,309	2,746	4,84	-7,53	-2,69	0,55	-0,31	2,75
660	0,007	4,842	-18,758	-13,916	2,700	-4,285	13,595	4,84	-18,76	-13,92	2,70	-4,29	13,59
670	0,0057	4,842	-29,982	-25,140	4,424	-12,402	22,411	4,84	-29,98	-25,14	4,42	-12,40	22,41
680	0,0045	4,842	-40,491	-35,649	5,403	-23,578	27,361	4,84	-40,49	-35,65	5,40	-23,58	27,36
690	0,0035	4,842	-49,574	-44,731	5,400	-35,920	27,246	4,84	-49,57	-44,73	5,40	-35,92	27,25
700	0,0027	4,842	-56,586	-51,743	4,354	-47,104	21,870	4,84	-56,59	-51,74	4,35	-47,10	21,87
710	0,0022	4,842	-61,014	-56,172	2,429	-54,894	12,158	4,84	-61,01	-56,17	2,43	-54,89	12,16
720	0,0021	4,842	-62,528	-57,686	0,000	-57,686	0,000	4,84	-62,53	-57,69	0,00	-57,69	0,00

Ізм.

Арк.

№ докум.

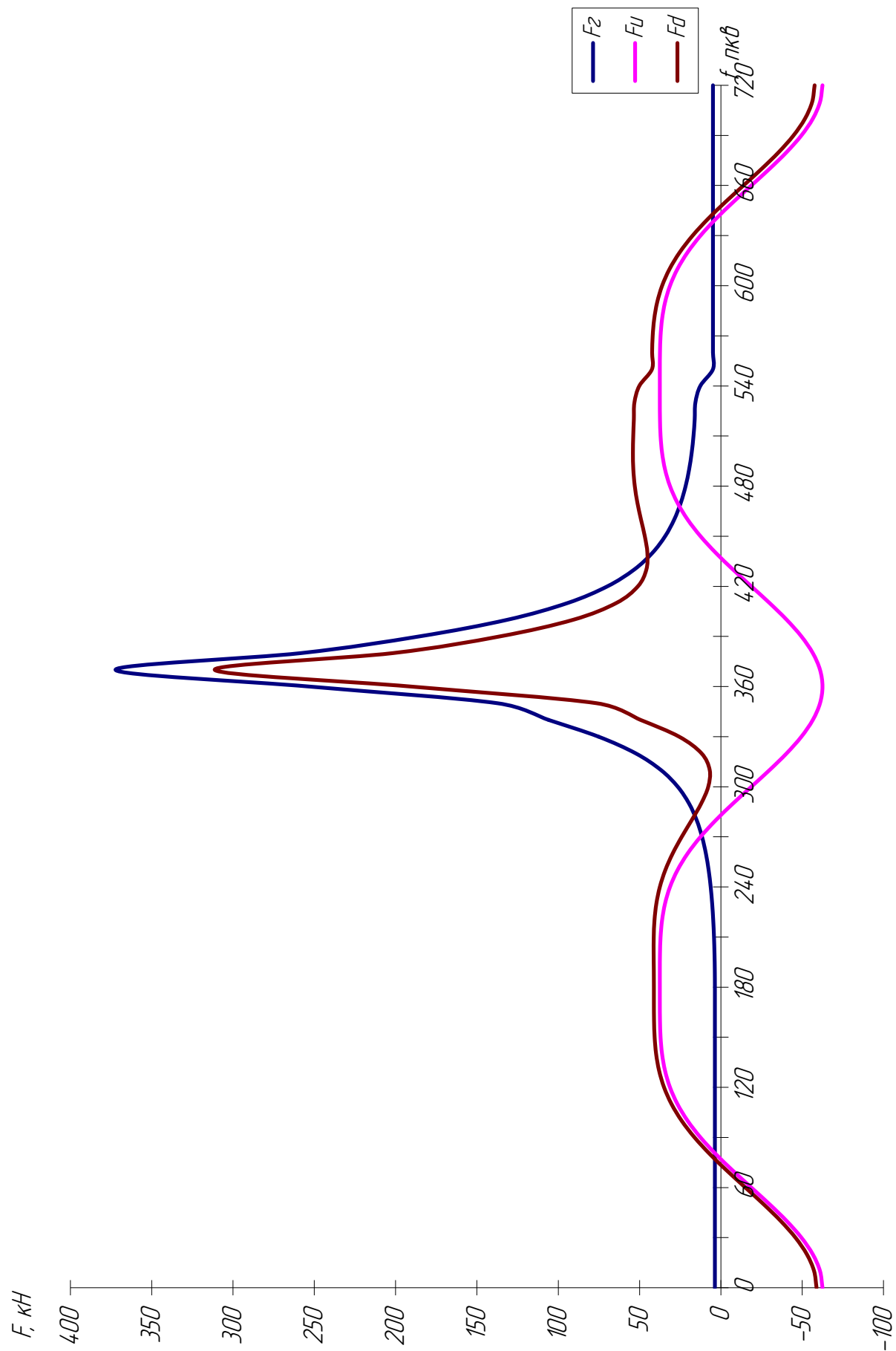
Підпис

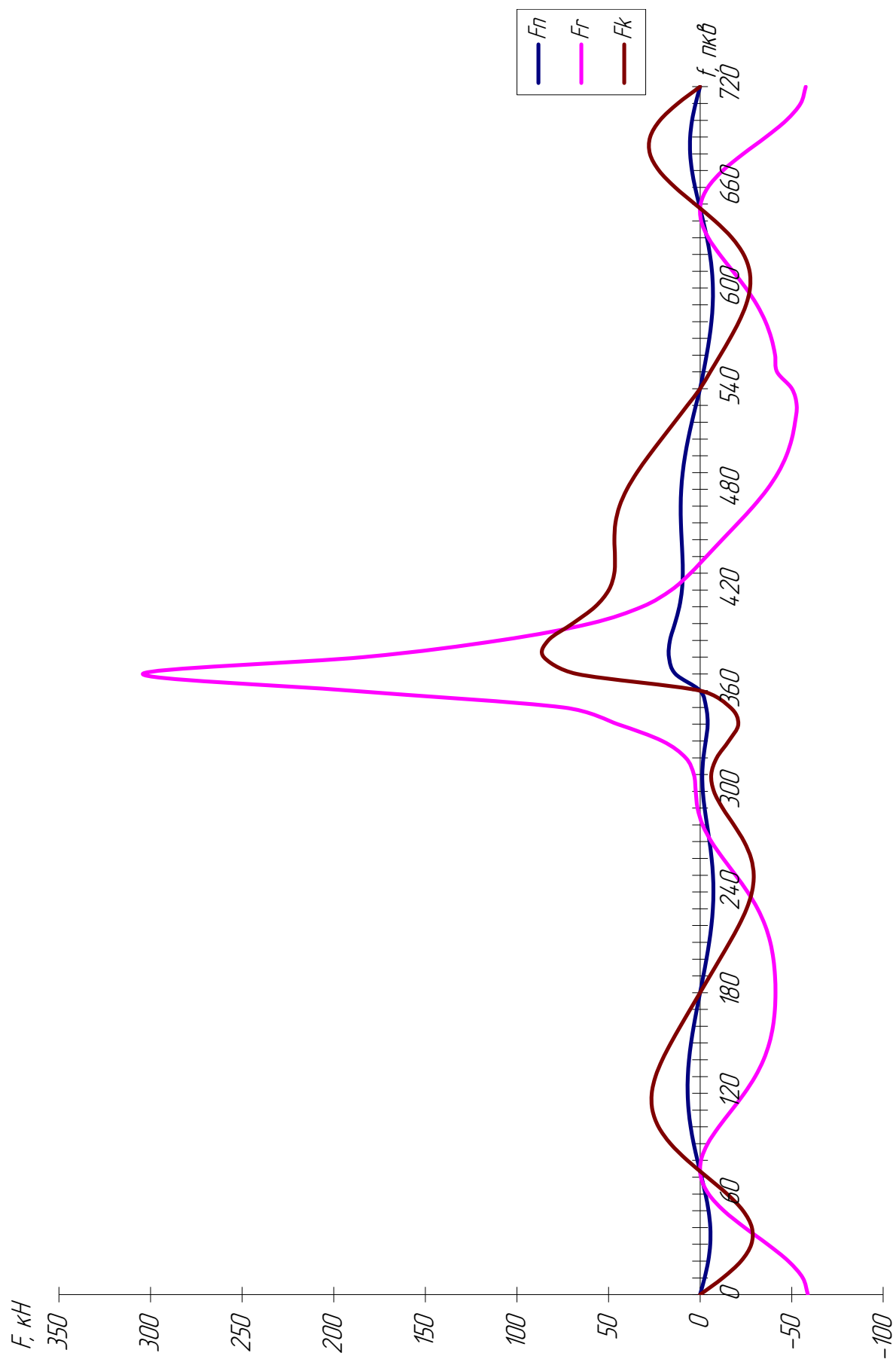
Дата

ПННІ НУК 131.61.22.02 ПЗ

Лист

41





2.6. Аналіз ефективних показників проектного двигуна та двигуна-прототипу.

Для проведення аналізу ефективних показників у таблицю 2.2 заносимо основні технічні параметри проектного двигуна та двигуна прототипу.

Таблиця 2.2

Ефективні показники двигуна-прототипу та проектного двигуна.

№ п/п	Назва параметру	Позначення	Розмірність	Чисельне значення		Порівняння, у %
				Двигун-прототип	Проектований двигун	
1	Ефективна потужність	P_e	кВт	500	450	-10,0
2	Середній ефективний тиск	P_{me}	кПа	1080	900	-16,7
3	Ступінь стиску	ϵ		8	8	0,0
4	Тиск наддува	P_b	кПа	200	185	-7,5
5	Паливо, що використовується			прир. газ	біогаз	
6	Питома витрата палива	b_e	мЗ/кВт·год	0,28	0,508	81,43
7	Частота обертання	n	об/хв	600	600	0,0
8	Кількість циліндрів	i	шт.	6	6	0,0
9	Діаметр циліндру	D	мм	250	250	0,0
10	Хід поршня	S	мм	340	340	0,0

Як видно із таблиці 2.2, літраж двигуна та частота обертання не змінилися. У проектного двигуна питома ефективна витрата палива збільшилась на 81,43%. Це можна пояснити використанням палива з меншою теплотою згорання. Той самий фактор впливає і на зменшення ефективної потужності двигуна

Для компенсації неминучого погіршення ефективних показників двигуна при використанні палива з меншою теплотою згорання було зменшено тиск наддуву на 7,5%, також зменшився середній ефективний тиск на 16,7%.

РОЗДІЛ 3. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

3.1 Існуючі технології виробництва біогазу

Сучасні технології переробки сільськогосподарської продукції спрямовані на утилізацію органічних відходів або їх переробку в готову продукцію (наприклад: біологічно активні добрива, кормові добавки, біостимулятори, біогаз тощо) [1-3].

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

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

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

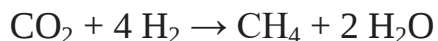
Практично усі органічні речовини розкладаються шляхом ферментації. У анаеробних умовах мікроорганізми, що беруть участь процесі зброджування або розкладання, адаптуються до початкового субстрату. У зв'язку з тим що бродіння відбувається у вологому середовищі, біосубстрат повинен містити приблизно 50% води. Біологічне розкладання здійснюється при температурі від 35°C до 40°C. При анаеробному бродінні відбувається багатоступінчастий процес перетворення органічних речовин з високомолекулярних з'єднань в низькомолекулярні, які можна розчинити у воді. На одному етапі розчинені речовини розкладаються, утворюючи органічні кислоти, невеликий вміст алкоголю, водень, аміак,

					ПННІ НУК 131.61.22.02 ПЗ	Лист
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

сірководень і вуглекислий газ. На іншому - бактерії перетворюють речовини в оцтову і мурашину кислоти і в процесі метаногенезу розщеплюють їх, утворюючи метан.



Одночасно зміст CO_2 зменшується за рахунок водню, внаслідок чого також утворюється метан.



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

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

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

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

Найбільш оптимальні результати досягаються при очищенні газу з використанням активованого вугілля, причому з газу видаляється не лише сірка, але і кремній. В цьому випадку якість біогазу відповідає якості природного газу, а

					ПННІ НУК 131.61.22.02 ПЗ	Лист
						46
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

використання окислювального каталітичного газонейтралізатора забезпечує додаткове зниження рівня емісії вихлопних газів.

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

Вироблення енергії з біогазу, у світлі регулярних енергетичних криз, відносять до перспективних поновлюваних джерел енергії. Біогазові установки перетворюють сонячну енергію, накопичену рослинами, у біогаз в ході процесу біологічного розкладання. Цей процес є нейтральним відносно балансу CO₂, оскільки в атмосферу вивільняється тільки та кількість діоксиду вуглецю, яке раніше було поглинено рослинами в процесі фотосинтезу.

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

Система газообміну

Система газообміну (рис. 3.1) призначена для підведення газоповітряної суміші в циліндри двигуна і відведення від них відпрацьованих газів. Основні вузли, які входять в систему: комплект газової апаратури, фільтр-глушник, змішувач, турбокомпресор, колектор впускання, випускний колектор.

Фільтр-глушник

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

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

					ПННІ НУК 131.61.22.02 ПЗ	Лист
						47
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Комплект газової апаратури

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

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

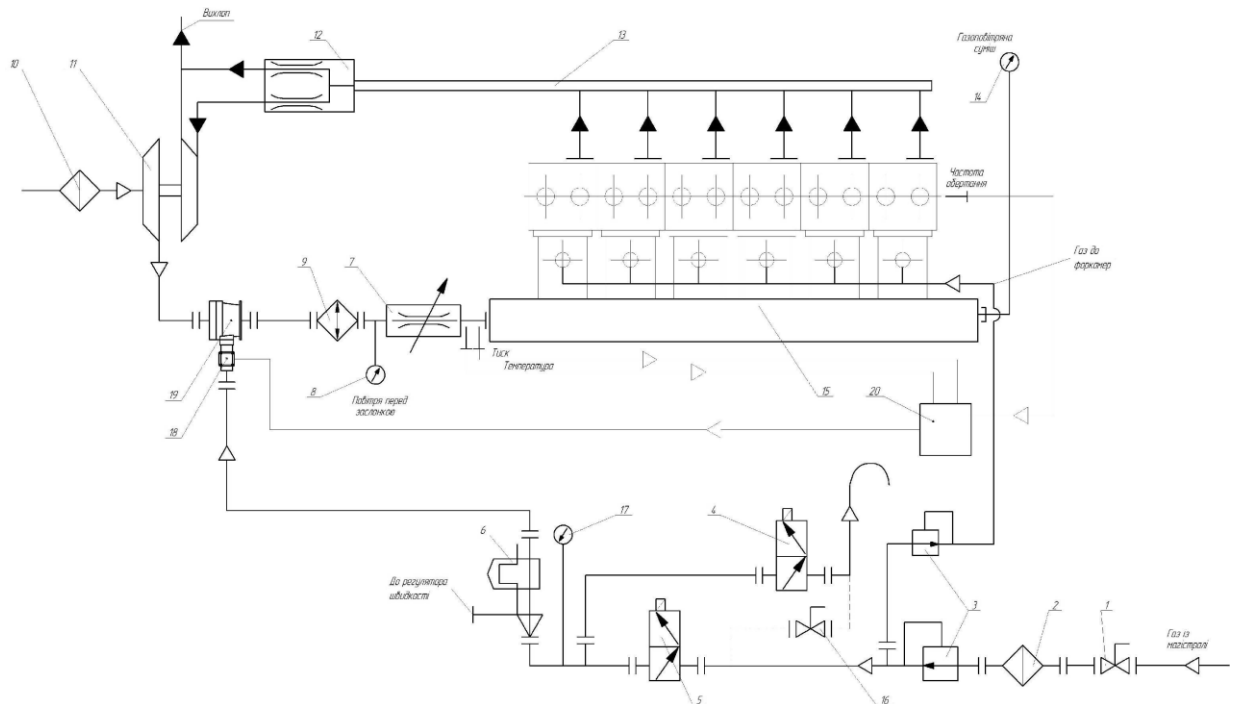


Рисунок 3.1 Принципова схема системи газообміну

1-шаровий кран; 2-фільтр; 3-редуктор; 4-електромагнітний клапан свічки; 5-електромагнітний клапан подачі газу; 6-регулятор нульового тиску; 7-заслінка дросельна; 8-мановакууметр; 9-охолоджувач наддувочного повітря; 10-фільтр-глушник; 11-турбокомпресор; 12-розподільник потоку випускних газів; 13-колектор випускний; 14-мановакууметр; 15-колектор впускний; 16-шаровий кран на свічку; 17-манометр; 18-електронно керований-клапан; 19-змішувач зі вставкою Вентурі; 20-контроллер відношення газ-повітря

					ПННІ НУК 131.61.22.02 ПЗ	Лист
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

3.2 Описання системи подачі паливного газу

Використання в якості палива двигуна біогазу несе в своїй основі небезпеку неоднорідності складу паливного газу, що часто призводить до негативних наслідків у робочому процесі двигуна і, навіть, пропусків запалювання. При цьому вміст шкідливих домішок у складі випускних газів двигуна (CO та NO_x) значно збільшується. Це зумовлено можливою наявністю у складі біогазу негорючих домішок.

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

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

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

Окремий газопровід, на якому встановлений редуктор, підводить газ до

					ПННІ НУК 131.61.22.02 ПЗ	Лист
						49
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

автоматичних газових клапанів, що встановлені в стакани на кожній кришці циліндра. Зверху у стакан вкручується свічка запалювання. Внутрішня порожнина стакану формує так звану форкамеру.

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

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

Змішувач

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

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

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

					ПННІ НУК 131.61.22.02 ПЗ	Лист
						50
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

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

Камера змішувача газового двигуна 6ГЧН 25/34 (рис. 3.2) призначена для

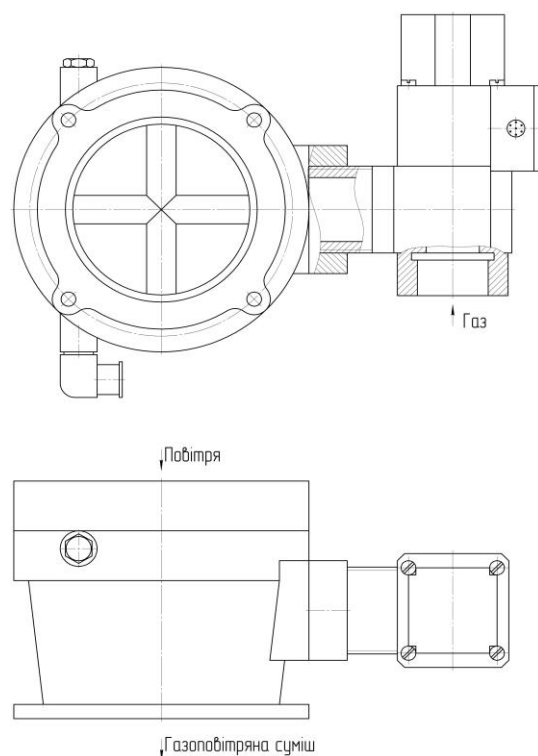


Рисунок 3.2 Змішувач і λ -клапан

					ПННІ НУК 131.61.22.02 ПЗ	Лист
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

змішування потоку повітря, що поступає через фільтр-глушник на всмоктування в компресор турбокомпресора з газом, що поступає з газового трубопроводу в камеру. Камера складається з корпусу , в який встановлена вставка зі змінним перерізом. Газ з газового трубопроводу через електронно керований λ -клапан поступає в кільцевий простір між корпусом і вставкою Вентурі і через щілину йде на змішування з потоком повітря, і далі на охолоджувач повітря.

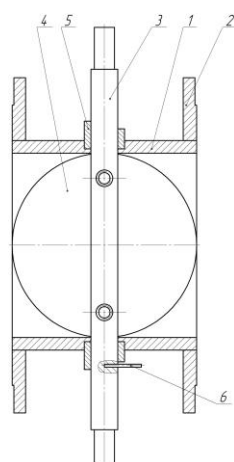
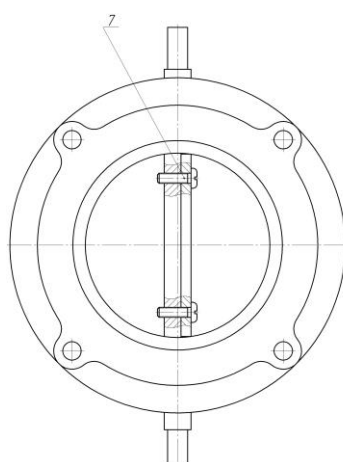
Величина щілини (прохідний перетин) регулюється запрограмованим контролером суміші газ-повітря (залежно від параметрів газоповітряної суміші перед впускним колектором та від частоти обертання колінчастого валу) на місці установки двигун-генератора при здачі його в експлуатацію.

Колектор впускний

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

Заслінка

Заслінка (рис. 3.3) з приводом від регулятора призначена для регулювання прохідного перетину у впускному колекторі, відповідно, кількості газоповітряної суміші, що поступає в циліндри двигуна залежно від навантаження. Основними її елементами є корпус і заслінка з віссю, яка з мінімальним зазором обертається в



корпусі і підшипниках, запресованих в нього.

Рисунок 3.3 Заслінка

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

					ПННІ НУК 131.61.22.02 ПЗ	Лист
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

3.3 Розрахунок системи газоповітряної суміші

Параметри робочого циклу:

Потужність двигуна (номінальна), кВт	450
Номінальне число обертів двигуна, хв ⁻¹	600
Годинна витрата газу, м ³ /год	228,5
Коефіцієнт надлишку повітря	1,7
Температура повітря, при нормальних умовах, К	293
Тиск повітря при нормальних умовах, Па	101000

Теоретично необхідна кількість повітря при нормальних умовах для спалювання 1 м³ біогазу (з розрахунку робочого циклу двигуна):

$$L_0 = 1,381 \text{ м}^3 \text{ пов./м}^3 \text{ газу.}$$

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

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

$$V_{\text{гпс}} = 228,5 \cdot (1,7 \cdot 1,381 + 1) = 765 \text{ м}^3/\text{год},$$

де:

$B = 228,5 \text{ м}^3/\text{год}$ – з розрахунку робочого циклу двигуна.

Об'ємна витрата повітря:

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

$$V_{\text{пов}} = 228,5 \cdot 1,7 \cdot 1,381 = 537 \text{ м}^3.$$

Масова витрата газоповітряної суміші

$$G_{\text{гпс}} = (\rho_{\text{п}} \cdot V_{\text{пов}}) + (\rho_{\text{г}} \cdot B);$$

$$G_{\text{гпс}} = (1,22 \cdot 537) + (1,122 \cdot 228,5) = 911 \text{ кг/год};$$

де:

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

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

					ПННІ НУК 131.61.22.02 ПЗ	Лист
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

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

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

$$+ [\varphi_{\text{N2}} \cdot (\mu_{\text{N2}}/22,4)] + [\varphi_{\text{с3н8}} \cdot (\mu_{\text{с3н8}}/22,4)] - \text{щільність біогазу};$$

$$\rho_{\text{г}} = [0,002 \cdot (30/22,4)] + [0,977 \cdot (16/22,4)] + [0,005 \cdot (44/22,4)] +$$

$$+ [0,013 \cdot (14/22,4)] + [0,003 \cdot (44/22,4)] = 0,724 \text{ кг/м}^3$$

Швидкість повітря в змішувальній камері знаходимо з рівняння:

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

звідки:

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

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

де:

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

Розрідження в змішувальній камері:

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

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

Тиск повітря в змішувальній камері;

$$P_{\text{п}} = P_0 - \Delta P;$$

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

Швидкість надходження природного газу до змішувальної камери:

$$C_{\text{г}} = \sqrt{2 \times k / (k-1) \times R \times T_0 \times \left[1 - (P_{\text{п}} / P_{\text{г}})^{(k-1)/k} \right]}, \text{ м/с}$$

$$C_{\text{г}} = \sqrt{2 \times 1,3 / (1,3-1) \times 303 \times 298 \times \left[1 - (97336 / 101000)^{(1,3-1)/1,3} \right]} = 81,5 \text{ м/с}$$

					ПННІ НУК 131.61.22.02 ПЗ	Лист
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

Діаметр трубопроводу для подачі газу в змішувальну камеру знаходимо з рівняння:

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

звідки:

$$d=\sqrt{(4 \times B)/(\pi \times C_r \times 3600)}, \text{ мм};$$

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

Ширину кільцевої щілини в змішувальній камері для підведення природного газу знаходимо з рівняння:

$$B=3600 \cdot \pi \cdot d \cdot \delta \cdot C_r;$$

звідки:

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

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

3.4 Визначення типу виробництва

Складання машин є заключним етапом у виробництві машин і представляє собою великий комплекс слюсарних, складальних і контрольних робіт. Від якості складальних робіт залежить надійність машин.

Тип виробництва визначають в залежності від розміру завдання та трудомісткості форсунки згідно таблиці 3.1.

Приблизна трудомісткість складання лежить в межах 250-2500 хв, а середньомісячний випуск 10 комплектів, то тип виробництва – серійний.

Основні технологічні признаки серійного виробництва:

- складання машин по технологічному процесу, який розбитий на окремі операції;
- середня кваліфікація робітників;
- середній рівень спеціалізації;
- використання універсального та спеціального обладнання та інструменту.

					ПННІ НУК 131.61.22.02 ПЗ	Лист
						55
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Залежність типу виробництва від об'єму випуску

Об'єм випуску					
Одиничне		Серійне		Масове	
Трудомісткість складання, хв	Середньомісячний випуск, шт.	Трудомісткість складання, хв.	Середньомісячний випуск, шт.	Трудомісткість складання, хв.	Середньомісячний випуск, шт.
2500	До 1	2500	5	2500	-
250-2500	1-3	250-2500	9-60	250-2500	500
25-250	3-5	25-250	31-530	25-250	1500
25-25	5-8	25-25	50-600	25-25	3000
0,25-25	10	0,25-25	81-800	0,25-25	4500

3.5 Вибір обладнання, пристосування та інструменту

Рациональна організація робочих місць виявляє великий вплив на підвищення продуктивності праці, не вимагаючи від підприємства значних матеріальних витрат.

Планування робочого місця повинне передбачити правильне розміщення предметів і засобів праці з урахуванням раціонального використання виробничої площі, зручності експлуатації і безпеки роботи.

Для розробки технологічного процесу складання форсунки обране таке обладнання та інструмент.

На ділянці повинні бути встановлені верстати для виконання слюсарно-складальних робіт.

Для продувки деталей використовувати стиснуте повітря із заводської системи.

Для промивки деталей встановлена ванна із дизельним паливом або гасом.

Затяжку основних різьбових з'єднань необхідно виконувати за допомогою динамометричного ключа.

					ПННІ НУК 131.61.22.02 ПЗ	Лист
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

На дільниці встановлені стелажі для зберігання комплектуючих та пристосувань.

Для зберігання інструментів, креслень, технологічних процесів на дільниці встановлено інструментальні ящики.

Дільниця повинна бути укомплектована вимірювальними пристроями, так як контрольні операції будуть виконувати робітники дільниці.

3.6 Визначення технічної норми часу

Розрахунок штучного часу в умовах серійного виробництва вираховується згідно формули

$$T_{\text{шт}} = \sum T_{\text{оп}} \left(1 + \frac{a_{\text{обс}} + a_{\text{оп}}}{100}\right), \text{хв}$$

де $T_{\text{оп}}$ - оперативний час на операцію, хв.;

$a_{\text{обс}}$ - відсоток часу від оперативного на обслуговування робочого місця в % (4%);

$a_{\text{оп}}$ - відсоток часу від оперативного на особисті потреби (3%);

Технологічний процес складання (див. додаток А) передбачає наступні операції: підготовча, складальна, випробувальна.

Визначимо штучний час на кожен окрему операцію складання форсунки

05 Підготовча.

$$T_{005} = 21,2 (1 + (4+3)/100) = 22,68 \text{ хв.}$$

010 Складальна.

$$T_{010} = 27,9 (1 + (4+3)/100) = 29,85 \text{ хв.}$$

015 Випробувальна

$$T_{015} = 5,0 (1 + (4+3)/100) = 5,35 \text{ хв.}$$

Визначаємо загальний штучний час на складання.

$$T_{\text{шт}} = T_{005} + T_{010} + T_{015} + T_{020}, \text{хв.}$$

$$T_{\text{шт}} = 22,68 + 29,85 + 5,35 = 58 \text{ хв.}$$

					ПННІ НУК 131.61.22.02 ПЗ	Лист
						57
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих факторів, створених проектованим двигуном

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

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

По характеру впливу на організм людини ці шкідливі речовини розділяються:

1. Загально токсичні, які викликають отруєння всього організму (окис вуглецю, ціаністі з'єднання, свинець, ртуть).
2. Подразнюючі, які викликають подразнення дихальних шляхів і слизоватих оболонок (хлор, аміак).
3. Речовини що діють як алергени (формальдегід, різні розчини та інші).
4. Канцерогени, що викликають ракові захворювання (амін, окисли хрому, азбест).

Пари палива та мастила

Пари палива та мастила проникають в організм людини, подразнююче діють і можуть призвести до виникнення хронічних захворювань легких і дихальних шляхів. По ГОСТ 12.1.005–88 установлені припустимі границі концентрації пари дизельного палива – 100 мг/м^3 – у повітрі виробничих приміщень.

					ПННІ НУК 131.61.22.02 ПЗ	Лист
						58
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

Висока температура відкритих частин двигуна.

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

Пожежна безпека.

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

Електробезпеність.

Проходячи через тіло, струм впливає:

1. Термічно. Виражається в опіках, нагріванні кровоносних судин, нервів і інших тканин, гіперскорочення м'язових тканин.
2. Електрично. Виражається в зміні фізико – хімічного складу крові й інших рідин.
3. Біологічно. Виражається в подразненні і руйнуванні тканин організму, а також у порушенні внутрішніх процесів.

Шум.

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

Санітарні норми шуму

Таблиця 4.1

b, Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
α_0 , Дб	103	96	91	88	85	83	81	80

Вібрація.

Вібрація виникає через динамічну неврівноваженість мас кривошипно-шатунного механізму ДВЗ. Локальна вібрація викликає спазми судин і погіршує кровообіг. Загальна вібрація з частотою 0,7 Гц викликає морську хворобу, з частотою 4 – 30 Гц може викликати ушкодження плечового пояса, більшості внутрішніх органів через резонансні явища. Стандартні норми вібрації приведені в таблиці 4.2.

Санітарні норми вібрації

Таблиця 4.2

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

Розрахунок рівня шуму і вібрації в приміщенні енергетичної установки

Рівень шуму, вироблений двигуном, визначається по формулі:

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

де: n_n – номінальна частота обертання, $n_n = 600 \text{ хв}^{-1}$;

n – робоча частота обертання, $n = 600 \text{ хв}^{-1}$;

P_e – номінальна потужність двигуна, $P_e = 450 \text{ кВт}$.

$$L = \left[54 + 10 \lg(600 + 450^{0.55}) + 30 \lg\left(\frac{600}{600}\right) \right] = 82.96 \text{ Дб}$$

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

Для зниження аеродинамічного шуму, створеного двигуном, використовуються глушники різних конструкцій. Використання глушників дозволяє знизити загальний рівень шуму на 10 – 12 Дб.

Для зниження повітряного шуму, випромінюваного зовнішніми поверхнями двигуна, використовуються звукоізолюючі кожухи бокси, що дозволяють знизити загальний рівень шуму на 10 – 15 Дб, а додатково на 20 Дб і вище.

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

Рівень вібрації для двигуна визначається по формулі:

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

де m – маса двигуна, $m = 12000$ кг;

$$L = 44 + 10 \lg \left(\frac{600 \cdot 450^{0.55} \cdot \left(\frac{1 + 450}{12000} \right)}{1 + \left(\frac{1}{1500} \right)^3 \cdot \left(\frac{12000}{450} \right)} + 30 \lg \left(\frac{600}{600} \right) \right) = 74.3 \text{Дб}$$

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

Заходи щодо зниження шуму і вібрації.

Шум і вібрація, присутня на двигунах внутрішнього згоряння впливають на здоров'я працюючих, зменшує продуктивність праці, притупляється увага. Двигуни відносяться до найбільш гучних механізмів, у більшості випадків є основними джерелами шуму і вібрації. Найбільш ефективним і, у той же час, найбільш складним є метод боротьби із шумом самого двигуна. Суть методу – у спеціальній організації робочого місця і конструктивному оформленні двигуна і його вузлів, у поліпшеній технології виготовлення й обробки деталей двигуна (підвищена точність нарізування зубів шестірни, загальне доведення і притирання деталей, вибір мало гучних підшипників).

					ПННІ НУК 131.61.22.02 ПЗ	Лист
						61
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

Ефективним способом зменшення шуму і вібрації є установлення віброгасників у місцях підвищеної вібрації, а також закріплення дверей та люків з метою зменшення тремтіння.

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

Вентиляція.

У результаті порушення герметичності з'єднань деталей двигуна в приміщенні машинного відділення можуть з'являтися токсичні сполуки (CO; SO₂; CH₄). Щоб запобігти підвищення концентрації шкідливих речовин, необхідна система вентиляції.

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

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

1. Кількість повітря що приходить повинне відповідати кількості вилученого, різниця між ними повинна бути мінімальною.
2. Система вентиляції не повинна створювати шум на робочих місцях, що перевищує припустимі норми.
3. Система вентиляції повинна бути електробезпечна, пожежобезпечна і вибухобезпечна, проста в пристрої, надійна в експлуатації й ефективна.

					ПННІ НУК 131.61.22.02 ПЗ	Лист
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

4.2 Техніка безпеки та протипожежний захист в експлуатації

Забруднення навколишнього середовища, що виникають при експлуатації дизеля. Основні компоненти шкідливих викидів з відпрацьованими газами.

Процес перетворення хімічної енергії палива в механічну роботу в циліндрі дизеля супроводжується вихлопом відпрацьованих газів в атмосферу. До категорії найнебезпечніших забруднювачів, що втримуються в них, належать наступні газоподібні речовини й частки, що викидають із випускними газами: окисли азоту NO_x , що утворюються в циліндрах дизелі при температурі вище 1500°C , коли азот стає хімічно активним газом; окис CO і двоокис вуглецю CO_2 , що утворюються в результаті згоряння палива; сірчистий і сірчаний ангідриди SO_2 і SO_3 , що утворюються в результаті окислювання присутньої в паливі сірки (елементарної, меркаптанової та ін.); продукти неповного згоряння палива CH_x , агломерація дрібних часток не повністю згорілого палива, частки не повністю згорілого масла, сажі й ін. Утворення окислів азоту NO_x супроводжує робочий процес будь-якої енергетичної установки, якщо температура цього процесу вище 1500°C . За таких умов атоми азоту стають хімічно активними в результаті втрати ними одного або декількох електронів.

Таким чином, для того, щоб зменшити зміст у випускних газах окислів азоту, необхідно: створення в камері згоряння умов, при яких не відбувається інтенсифікація процесу утворення хімічно активного азоту; забезпечення максимально припустимої інтенсифікації процесу окислювання вуглеводнів (палива) у камері згоряння.

Окис вуглецю CO утвориться в результаті неповного згоряння палива, що вказує на недостатньо ефективне протікання робочого процесу в камері згоряння дизеля. До основних причин неповного згоряння палива ставляться: низькі експлуатаційні властивості застосовуваного палива; порушення в регулюванні подачі палива в камеру згоряння дизеля; незадовільний стан паливної системи й деталей ЦПГ (нагар на розпилювачі форсунок, утворення неприпустимих відкладень у газовипускному тракті, втрата рухливості поршневих кілець;

					ПННІ НУК 131.61.22.02 ПЗ	Лист
						63
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зношеність деталей паливних апаратів і ЦПГ).

Утворення окису вуглецю й окислів азоту зв'язані між собою прямо пропорційно, тобто чим більше зміст у випускних газах окису вуглецю, тим більше зміст і окислів азоту. Утворення окису вуглецю як результат неповного згоряння палива вказує на неефективне використання останнього в процесі перетворення його потенційної енергії в дизелі. Окис вуглецю при нормально організованому робочому процесі, правильному виборі застосовуваного палива й необхідному технічному стані дизеля не утвориться й у випускних газах не присутній.

Сірчистий і сірчаний ангідриди SO_2 і SO_3 утворюються в процесі згоряння палива, що містить сірку. Реакції окислювання сірки в сірчистий SO_2 і сірчаний SO_3 ангідриди проходять із виділенням теплоти, тому вони беруть участь у виробленні перетвореної в дизелі корисної енергії. Чим вище частка сірчаного ангідриду SO_3 , тим більше виділяється теплової енергії. Однак викиди цих ангідридів з випускними газами є небезпечними речовинами для навколишнього середовища.

Серед зазначених ангідридів найбільшу небезпеку представляє сірчистий SO_2 , що викидає у вигляді газу, і в результаті подальшого окислювання, що переходить у сірчаний ангідрид SO_3 . При температурі нижче 110°C сірчаний ангідрид, з'єднуючись із парами води, утворить найбільше хімічно активну сірчану кислоту H_2SO_4 . Сірчаний ангідрид утвориться в циліндрі дизеля, а сірчана кислота - ще у випускному тракті, і можлива її нейтралізація очисними пристроями. Тому в процесі згоряння палива необхідно забезпечити окислювання сірки в сірчаний ангідрид. Загальна кількість змісту сірчистих речовин у випускних газах регламентується змістом у паливі сірки, тому необхідно обмежити наявність сірки в застосовуваних паливах.

Тверді продукти згоряння палива (частки) у дизелі утворюються в результаті неповного окислювання найбільш важких його компонентів, і в першу чергу присутніх у ньому структурних утворень: смолистих, смористо-водяників, смористо-твердих. Всі ці незгорілі структурні системи й становлять основну масу твердих забруднень, що викидають у вигляді сажі з випускними газами.

					ПННІ НУК 131.61.22.02 ПЗ	Лист
						64
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Двоокис вуглецю CO_2 є кінцевою газоподібною речовиною процесу перетворення потенційної енергії вуглецево водневих енергоносіїв в енергетичних установках, зокрема в дизелях. На відміну від перерахованих речовин, що викидають у складі випускних газів, виключити зміст у них двоокису вуглецю неможливо. Основне екологічно небезпечний вплив двоокису вуглецю складається в руйнуванні озонового шару й створенні, таким чином, «парникового ефекту» на нашій планеті.

Нешкідливі або нейтральні (CO_2) речовини в сумі складають 99% від загального об'єму випускних газів. Інші - менш 1% (10000 частин на мільйон - проміле, ‰) - містять у собі окисли азоту (NO_x), сірки (SO_x), окис вуглецю (CO), вуглеводні (C_xH_y) і частки (сажа, зола).

Окис вуглецю, сажа й вуглеводні є результатом неповного згоряння палива. У зв'язку з більшим надлишком повітря у відпрацьованих газах суднових дизелів їх небагато в порівнянні з їхньою кількістю у високо обертових автотракторних дизелях і особливо бензинових карбюраторних двигунах. Однак, деякі вуглеводні мають сильні канцерогенні властивості, тому, незважаючи на малу концентрацію, проблема зниження викиду цих компонентів актуальна. Такі хімічні речовини, як NO_x , CO , SO_x і ін., потрапляючи в атмосферу, порушують її природний екологічний баланс внаслідок утворення слабких кислот.

Частка NO_x і SO_2 у відпрацьованих газах дизелів становить більше 80% об'єму всіх шкідливих викидів, тому завдання зниження емісії цих компонентів становить основу проблеми створення екологічно чистих суднових дизелів. Зміст окислів сірки у відпрацьованих газах обумовлено наявністю сірки в паливі. При окислюванні сірки в камері згоряння дизелі утворюються SO_2 і SO_3 , причому переважно SO_2 (співвідношення 15:1). Утворення окислів азоту в камері згоряння дизеля обумовлено наявністю більших кількостей азоту, кисню й високих температур в окремих зонах розшарованого заряду. Окислювання азоту починається при температурі вище 1227°C , а при 2027°C і більше реакція протікає досить швидко (час реакції близько $10^{-2} \div 10^{-6}$ с).

					ПННІ НУК 131.61.22.02 ПЗ	Лист
						65
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Окис азоту утвориться в зонах паливного факела, де суміш наближається по сполуці до стехіометричної, а локальна температура може досягати 2227 °С. І хоча максимальна температура в дизелях не перевищує 1727 °С, зазначене обставина обумовлює високі значення емісії NO_x. Окисли азоту утворюються також через наявність азоту в паливі. Як показали дослідження, цей азот значно більше активний у хімічних реакціях окислювання в порівнянні з атмосферним азотом.

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

В процесі експлуатації дизель знаходиться у взаємозв'язку з навколишнім середовищем, для роботи споживається повітря і вода, викидаються в атмосферу випускні гази, а в гідросферу вода з двигуна та нафтоутримуючі води. Дизель є джерелом теплового, шумового, вібраційного та радіаційного забруднень біосфери.

У наслідку недосконалості процесів згоряння палива, конструкції механізмів, порушень правил технічного обслуговування, а іноді в результаті аварії сильно забруднюється біосфера. Це призводить до зміни санітарно-гігієнічних умов життєдіяльності людини, сприяє розвитку різних захворювань і впливає на флору і фауну. Разом з охолоджуючою водою, що відходить від дизеля, назовні може попасти мастило, паливо. Це може відбуватися крізь нещільність з'єднань систем, сальники арматури і насосів, а також крізь трубопроводи при їхньому зношенні.

4.3 Охорона навколишнього середовища

Відомі наступні методи фізичної і хімічної обробки газів, що відробили, з метою очищення навколишнього середовища від шкідливих речовин і теплового забруднення: утилізації теплових утрат; каталітична, вогньова і рідинна нейтралізація, фільтрація й інше.

					ПННІ НУК 131.61.22.02 ПЗ	Лист
						66
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Утилізація теплових витрат на судні здійснюється з метою удосконалювання ССУ, впливає також і на характер забруднення навколишнього середовища, зменшуючи величину теплових викидів. Дія каталітичних нейтралізаторів заснована на без вогневому окислюванні продуктів неповного згорання палива C і C_xH_y в C_2 і H_2O , а також на розкладанні з'єднань NO_x у вихідні речовини N_2 і O_2 . Вогневе допалювання пальних елементів газів, що відробили, здійснюється в спеціальній камері при температурі 700-850 °С.

Принцип дії рідинних нейтралізаторів заснований на розчиненні або хімічному зв'язуванні токсичних компонентів при пропусценні газів, що відробили, через рідину відповідного складу, такою рідиною може бути і вода. Рідинні нейтралізатори, крім свого прямого призначення, гасять розпечені тверді частки газів, що відробили, це підвищує комфортабельність судна в цілому.

У простих конструкціях рідинного нейтралізатора, заповненого водою проходячи через шар рідини, гази нейтралізуються і надходять у вихідну трубу, з якої віддаляються в атмосферу. Робота рідинного нейтралізатора не залежить від режиму роботи двигуна.

У випускних трубопроводах двигунів при відсутності утилізаційних парогенераторів встановлюють іскрогасники, що запобігають викиду розпечених часток палива і сажі в навколишнє середовище.

4.4 Висновок по розділу 4

Таким чином, у даному розділі розглянуті джерела забруднення оточуючого середовища й атмосфери, та розроблені заходи щодо запобігання цих забруднень, відповідно до законодавчих актів, спрямованих на забезпечення екологічної безпеки.

Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ПННІ НУК 131.61.22.02 ПЗ

Лист

67

ВИСНОВКИ

Згідно із завданням на дипломне проектування розроблені необхідні конструкторські, розрахункові і пояснювальні матеріали по газовому двигуну 6ГЧН25/34 з проектуванням системи подачі біогазу, які оформлені у вигляді пояснювальної записки та конструкторської частини проекту загальною кількістю 8 аркушів формату А1

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

На початку кваліфікаційної роботи по заданим вихідним параметрам двигуна ($P=450$ кВт, $n = 600$ хв⁻¹) визначений двигун-прототип 6ГЧН 25/34 і проведені розрахунки параметрів робочого циклу. По результатам розрахунків побудовані індикаторна діаграма дійсного робочого циклу і діаграми сил, що діють на деталі КШМ, величини яких знайдені в динамічному розрахунку двигуна.

З теплового розрахунку було взято необхідні вихідні дані для розрахунку системи регулювання складу газоповітряної суміші.

Розробка технологічного процесу виконана для складання заслінки.

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

В розрахунку враховуються витрати на капітальні ремонти, поточні ремонти, масло та паливний газ.

					ПННІ НУК 131.61.22.02 ПЗ	Лист
						68
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЛІТЕРАТУРА

1. Г. Голуб, О. Гайденко Сучасні тенденції розвитку біогазових установок. *Агробізнес сьогодні: журнал та мультимедійна платформа URL: <http://agro-business.com.ua>* (дата звернення 17.12.2022)
2. О.М. Пилипенко, І.А. Шльончак, В.О. Єрмоленко Біогаз – альтернативне дизельне паливо.; Черкаси 2017
3. Современное состояние и перспективы развития биоэнергетики в Украине / Гелетуа Г. Г., Железна Т. А., Жовмир Н. М., Матвеев Ю. Б. // Промышленная теплотехника. - 2005. - №1. - С. 78-85.
4. Шльончак І.А. Дослідження фізико-хімічних методів активації дизельного палива / Шльончак Ігор Анатолійович // Вісник ЧДТУ – 2015. - №1 – с. 135-140.
5. Кириллова Л.А. Применение синтетического бензина для автомобильных двигателей. / Л.А.Кириллова, П.М.Щербаков. – К.: Техника, – 1992, – №29, с. 62-64. – Автомобильный транспорт.
6. Доценко С. М., Бельський Ф. В. Григоренко В. О. Методичні вказівки до виконання розрахунку робочого процесу газового двигуна з дисципліни «Теорія двигунів внутрішнього згоряння». - Первомайськ: ППП – 36 с.
7. Теория двигателей внутреннего сгорания. Рабочие процессы. Под ред. Н.Х. Дяченко. «Машиностроение» Л., 1974
8. Абрамчук Ф.И., Марченко А.П., Разлейцев Н.Ф., Третьак Е.И., Шеховцов А.Ф., Шокотов Н.К. «Современные дизели: повышение топливной экономичности и длительной прочности», К.: Техника, 1992.
9. Балабанов А.Н. Короткий справочник технолога машиностроителя. – М.: Издательство стандартов, 1992.
10. Вешкельский С.А. «Справочник моториста установок с ДВС». Ленинград.: «Машиностроение», 1985.
11. «Дизель-генератор ДГА-800 Руководство по эксплуатации». Машиностроительный завод «Первомайскдизельмаш» Украина, г. Первомайск, Николаевской обл. 1999.
12. Дударчук Є.С., Нестеренко В.В., Ошовський В.Я. Тези: «Аналіз перспективних методів виготовлення заготовок колінчастих валів потужних ДВЗ» VII Міжнародна науково-технічна конференція «Актуальні проблеми інженерної механіки та технології машинобудування», м. Миколаїв, НУК ім. адмірала Макарова, 23–24 листопада 2022 року

					ПННІ НУК 131.61.22.02 ПЗ	Лист
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

Перв. примен.		Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
Справ. №				1	131.61.22.02.00.00.00	Газовий двигун-генератор ДвГА-430	1	
				2	131.61.22.02.02.00.00	Газова шафа	1	
				3	131.61.22.02.03.00.00	Компресор	1	
				4	131.61.22.02.04.00.00	Водяний бачок	1	
				5	131.61.22.02.05.00.00	Масляний бак	1	
				6	131.61.22.02.06.00.00	Витяжний короб	1	
				7	131.61.22.02.07.00.00	Пусковий балон	2	
				8	131.61.22.02.08.00.00	Балон з повітрям	1	
				9	131.61.22.02.09.00.00	Глушник-іскрогасник	1	
				10	131.61.22.02.10.00.00	Протипожежна система	2	
				11	131.61.22.02.11.00.00	Мініградирня	1	
				12	131.61.22.02.12.00.00	Пост керування	1	
				13	131.61.22.02.13.00.00	Силова шафа	1	
				14	131.61.22.02.14.00.00	Шафа власних потреб	1	
				15	131.61.22.02.15.00.00	Мостовий кран	1	
Подп. и дата								
Взам. инв. №								
Подп. и дата								
Инв. № подл.	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ПННІ НУК 131.61.22.02.00		
	Разрад.	Дударчук				Електростанція на базі двигуна 6ГЧН 25/34		
	Пров.	Нестеренко						
	Н.контр.	Нестеренко				Лит.	Лист	Листов
	Утв.	Нестеренко						61-ТЕМмаг-21

Перв. примен.		Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание		
Справ. №						Документація				
					131.61.22.02.00.00.00 СК	Складальне креслення				
						Складальні одиниці				
				1	131.61.22.02.01.00.00 СК	Фундаментна рама	1			
				2	131.61.22.02.02.00.00 СК	Колінчастий вал	1			
				3	131.61.22.02.03.00.00 СК	Блок-картер	1			
				4	131.61.22.02.04.00.00 СК	Кришка циліндра	6			
				5	131.61.22.02.05.00.00 СК	Поршень	6			
				6	131.61.22.02.06.00.00 СК	Шатун	6			
				7	131.61.22.02.07.00.00 СК	Розподільний вал	1			
				8	131.61.22.02.08.00.00 СК	Впускний колектор	1			
				9	131.61.22.02.09.00.00 СК	Випускний колектор	1			
				10	131.61.22.02.10.00.00 СК	Маховик	1			
				11	131.61.22.02.11.00.00 СК	Турбокомпрессор	1			
		Подп. и дата				12	131.61.22.02.12.00.00 СК	Щит приборів	1	
				13	131.61.22.02.13.00.00 СК	Масляний насос	1			
				14	131.61.22.02.14.00.00 СК	Водяний насос	2			
				15	131.61.22.02.15.00.00 СК	Система вентиляції картера	1			
				16	131.61.22.02.16.00.00 СК	Змішувач	1			
Подп. и дата							ПННІ НУК 131.61.22.02.00.СК			
		Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата				
		Разрад.	Дударчук							
		Пров.	Нестеренко							
Инд. № подл.					Газовий двигун			Лит.	Лист	Листов
					6ГЧН 25/34			У		1
								61-ТЕМмаг-21		
		Н.контр.	Нестеренко							
		Утв.	Нестеренко							

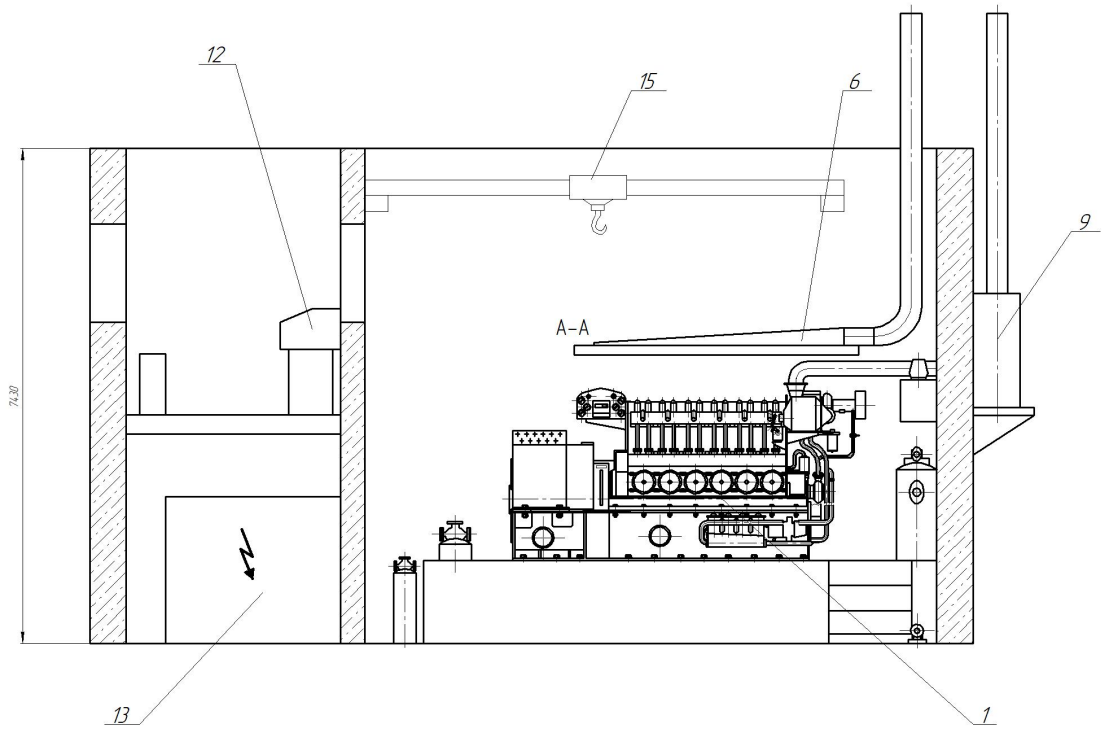
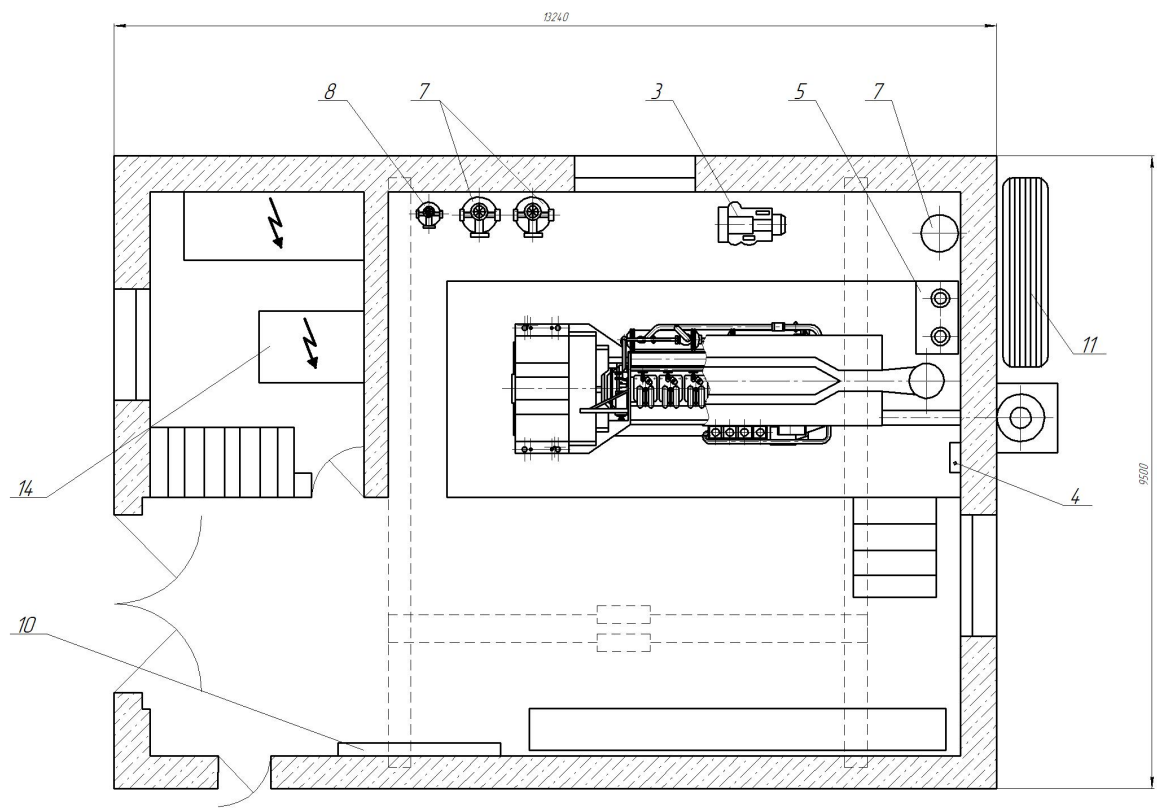
Перв. примен.	Справ. №	Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание	
Подп. и дата	Инв. № докл.	Взам. инв. №				Документація			
					7.05050304.61.16.2104.00.00 СК	Складальне креслення			
						Складальні одиниці			
					1	131.61.22.02.04.01.00 СК	Привід коромисел	1	
					2	131.61.22.02.04.02.00 СК	Пусковий клапан	1	
					3	131.61.22.02.04.03.00 СК	Кришка	1	
					4	131.61.22.02.04.04.00 СК	Автоматичний клапан	1	
							Деталі		
					5	131.61.22.02.04.00.05	Впускний клапан	1	
					6	131.61.22.02.04.00.06	Випускний клапан	1	
					7	131.61.22.02.04.00.07	Втулка	2	
					8	131.61.22.02.04.00.08	Нижня тарілка	2	
					9	131.61.22.02.04.00.09	Верхня тарілка	2	
					10	131.61.22.02.04.00.10	Замок	4	
					11	131.61.22.02.04.00.11	Сідло випускного клапана	1	
					12	131.61.22.02.04.00.12	Сідло впускного клапана	1	
					13	131.61.22.02.04.00.13	Зовнішня пружина	2	
					14	131.61.22.02.04.00.14	Внутрішня пружина	2	
15	131.61.22.02.04.00.15	Ковпачок	2						
16	131.61.22.02.04.00.16	Сопло	1						
17	131.61.22.02.04.00.17	Камера	1						
18	131.61.22.02.04.00.18	Прокладка	1						
Инв. № подл.	Подп. и дата	Изм. Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ПННІ НУК 131.61.22.02.00			
						Разрад.	Дударчук		
						Пров.	Нестеренко		
						Н.контр.	Нестеренко		
						Утв.	Нестеренко		
Кришка циліндра						Лит.	Лист	Листов	
							1	2	
						61-ТЕМмаг-21			

Перв. примен.		Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание		
Справ. №						Документація				
					131.61.22.02.08.00.00 СК	Складальне креслення				
						Складальні одиниці				
				1	131.61.22.02.08.01.00 СК	Корпус	1			
				2	131.61.22.02.08.02.00 СК	Кришка	2			
				3	131.61.22.02.08.03.00 СК	Перехідник	1			
				4	131.61.22.02.08.04.00 СК	Труба	1			
				5	131.61.22.02.08.05.00 СК	Труба	1			
				6	131.61.22.02.08.06.00 СК	Заслінка	1			
						Деталі				
				8	131.61.22.02.08.00.08	Бобишка	2			
				9	131.61.22.02.08.00.09	Бобишка	1			
				10	131.61.22.02.08.00.10	Прокладка	4			
				11	131.61.22.02.08.00.11	Пробка	2			
				12	131.61.22.02.08.00.12	Пробка	1			
				13	131.61.22.02.08.00.13	Прокладка	2			
						Стандартні вироби				
						Болт ГОСТ 7805-70				
				16		М6-8gx12	12			
				17		М14-8gx20	12			
		ПННІ НУК 131.61.22.02.00								
				Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		
Разрад.	Дударчук						Впускний коллектор	Лит.	Лист	Листов
Пров.	Нестеренко							У	1	2
Н.контр.	Нестеренко							61-ТЕМмаг-21		
Инд. № подл.		Утв.	Нестеренко							

[illegible]

Перв. примен.	Справ. №	Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
						Документація		
					131.61.22.02.16.00.00 СК	Складальне креслення		
						Деталі		
			2		7131.61.22.02.16.00.02	Корпус	1	
			3		131.61.22.02.16.00.03	Вставка	1	
			4		131.61.22.02.16.00.04	Напрямляюча	1	
				5	131.61.22.02.16.00.05	Прокладка	1	
						Інші вироби		
			1		E-LES 50	Електронно керований λ-датчик	1	
Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	ППІ НУК 131.61.22.02.00				
				Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Инв. № подл.	Разраб.	Дударчук			Змішувач	Лит.	Лист	Листов
	Пров.	Нестеренко				У		1
	Н.контр.	Нестеренко				61-ТЕМмаг-21		
	Утв.	Нестеренко						

Перв. примен.	Справ. №	Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание				
						Документація						
					131.61.22.02.08.06.00 СК	Складальне креслення						
						Деталі						
				1	131.61.22.02.08.06.01	Корпус	1					
				2	131.61.22.02.08.06.02	Вісь	1					
				3	131.61.22.02.08.06.03	Заслінка	1					
				4	131.61.22.02.08.06.04	Підшипник	2					
				5	131.61.22.02.08.06.05	Стопор	1					
						Стандартні вироби						
				6		Гвинт М6х20 ГОСТ 11644-75	2					
Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата	ПННІ НУК 131.61.22.02.00								
				Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата				
Инв. № подл.				Разраб.	Дударчук			Заслінка	Лит.	Лист	Листов	
				Пров.	Нестеренко							1
				Н.контр.	Нестеренко							
				Утв.	Нестеренко							
62-ТЕМмаг-21												

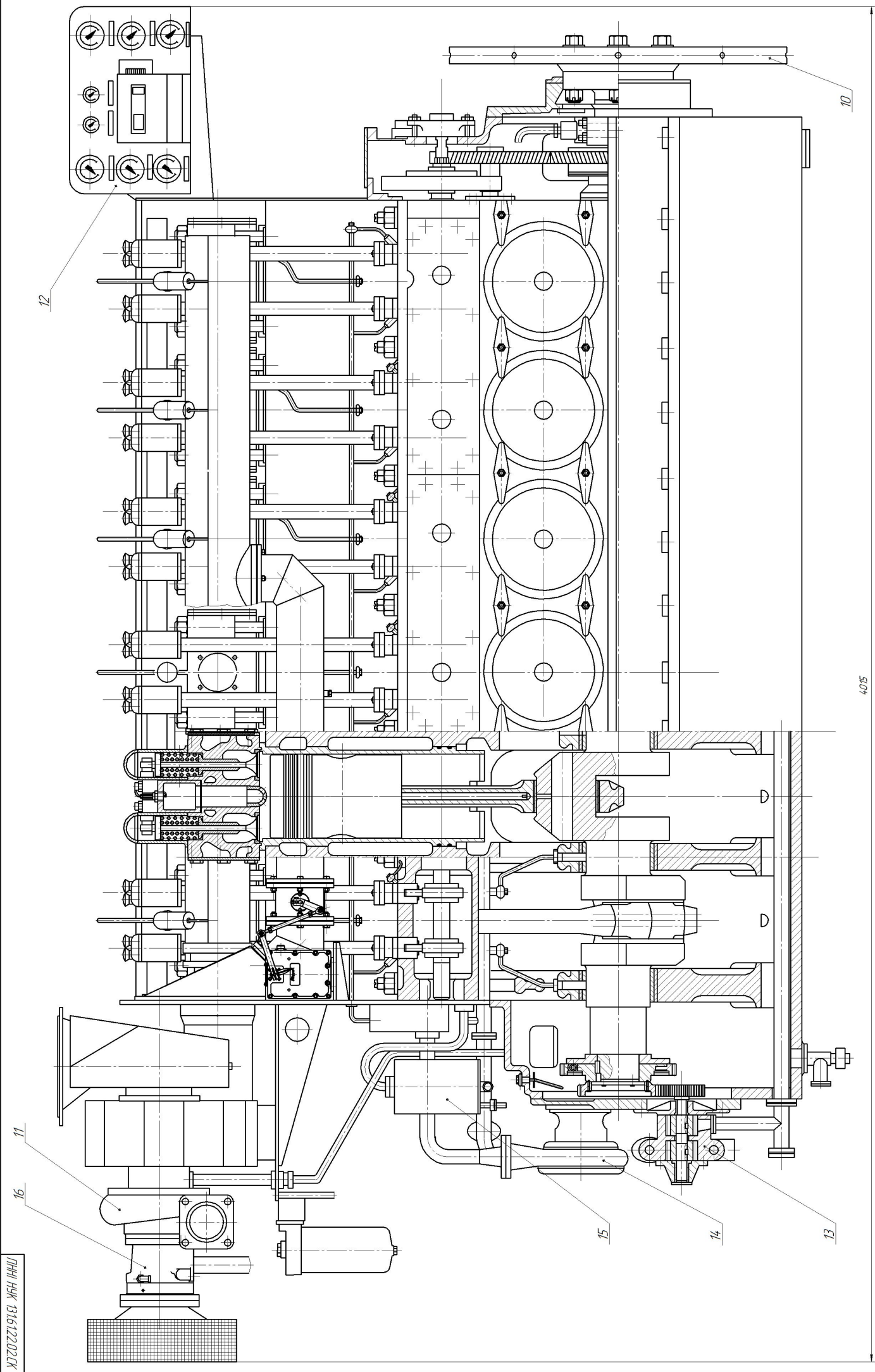


ПННІ НУК 1316122.02 СК									
Електростанція на базі двигуна 6ГЧН 25/34									
Лист 140									
61-ТЕМмаз-21									

Лист	Маса	Масштаб
Н	-	1:40
Лист	Листов	

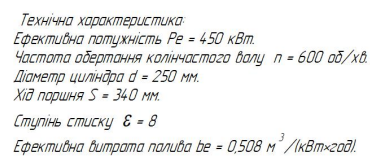
Інж. Лист	Інж. Лист	Лист	Лист
Розроб	Директор		
Проб	Нестеренко		
Г.контр	Нестеренко		
Н.контр	Нестеренко		
Утв	Нестеренко		

Копіювати Формат А1



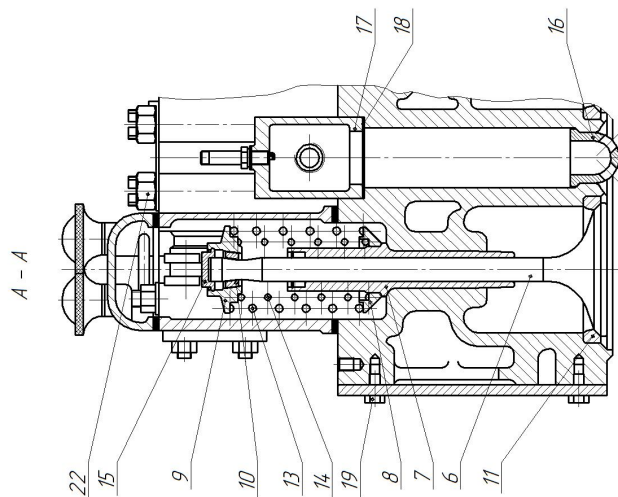
4015

ЛННН НУК 131612202СК		Деталь	Масштаб	Лист	Всего листов
Газовый двигатель		У	1:2500	15	
6ЧМ25/34		Лист 2	Листов 2		
6ЧМ25-21		Учт.	Исполнено		
		Исполн.	Исполнено		
		Учт.	Исполнено		



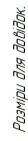
Технічні вимоги
Масло яке використовується на двигуні – МГ10Г2ЦС.
Охолоджуюча рідина: вода прісна з антикорозійною присадкою
ВНИИТП117/Д.

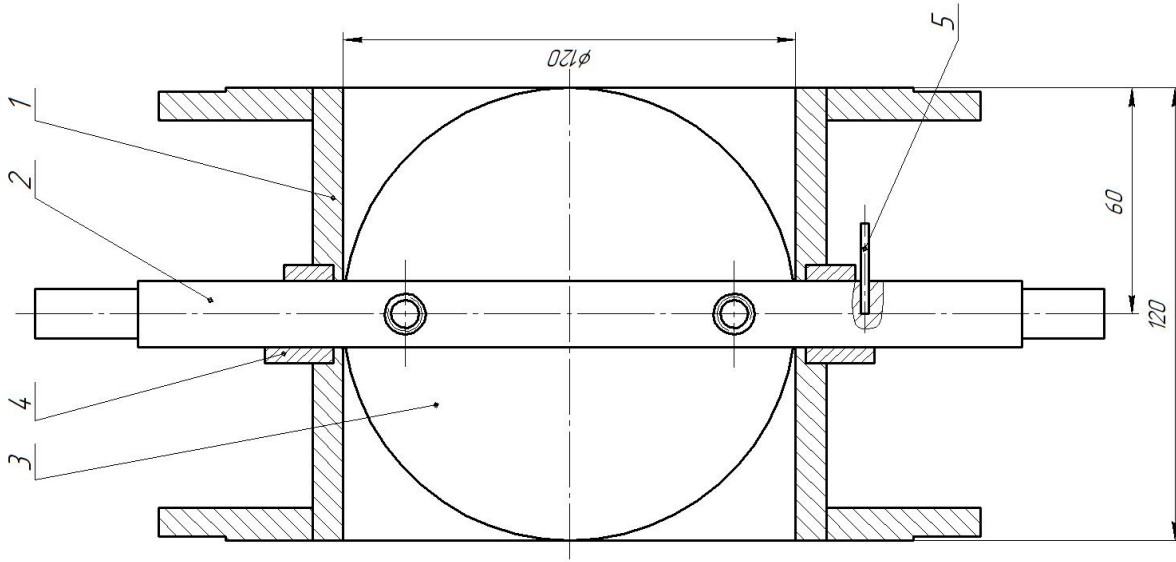
Копировал	Формат A1
-----------	-----------



1. Після заправки торця сида клапана повинен швидко прилипати до поверхні Г. Допускається провадження шуга товщиною 0,03 мм на дузі не більше 180°.
2. Допуск співвідноств фаски Е' сида клапана відносно осі напрямляючої ілупки клапана після прилипания 0,06 мм.
3. При складанні кришки осадити убіку притягнати притяжності істоплення відпускання та відпускання клапано у відбитий звід.
4. Клапани поз.2 та 3 притерти до сидів. Ширина притертого повсяка не менше 15 мм.
5. Перевірку шліфів притертих фасок і з'єднання кришки-сида клапана проводили за допомогою напильної госту з витримкою 10 хб.
6. Водичку парохини доводилати на герметичність водов під тиском 600 кПа на протязі 5 хб протікання не допускається.
7. Розряди для довідок.

[illegible]

[illegible]

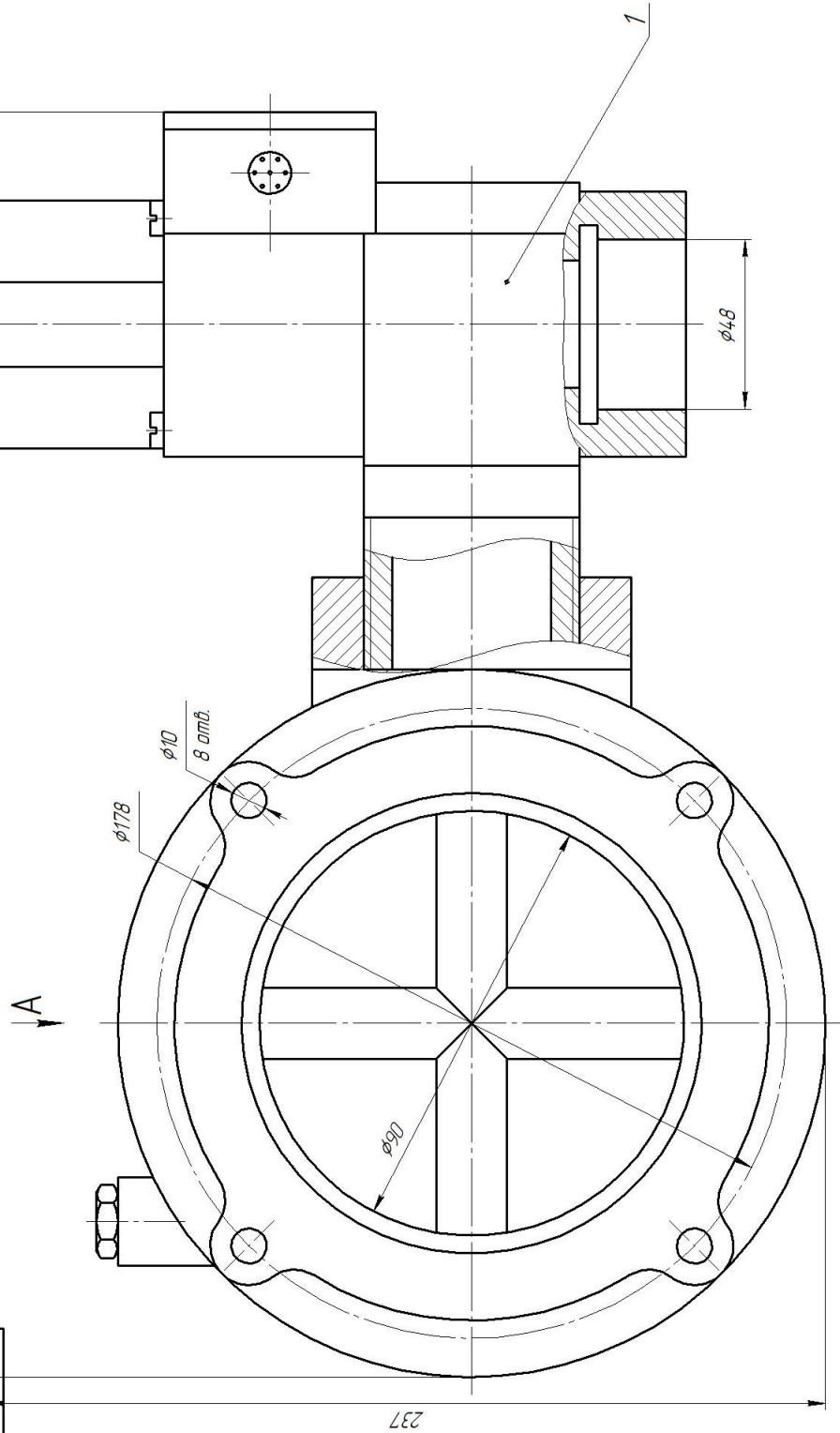


1. * Розміри для двійдок.
2. Заслічка поз. 4, яка встановлена на вісь поз. 3 повинна обертатися вільно та без заклинювань.
3. Виробувати на герметичність пневматичним тиском 150 ± 10 кПа ($15 \pm 0,1$ кгс/см²) на протязі 3-х хвилин. Вихід повітря не допустимий.

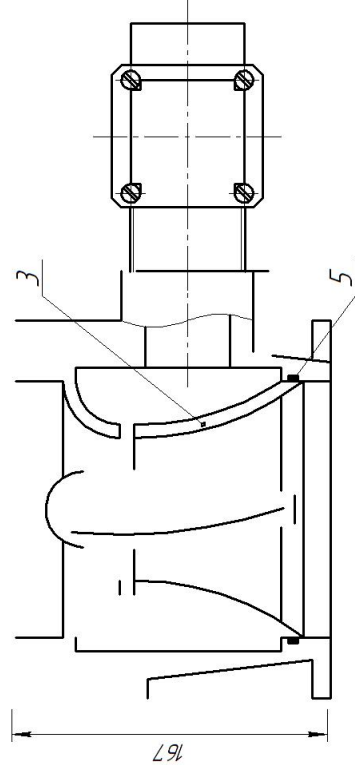
[illegible]

357,5

ПНН НУК 131.22.61.22.02.СК



2
A (1:2)



1. Розміри для довідок.
2. Випробувати на герметичність гідролічним тиском 0,1 МПа (кгс/см²) в потаці 3-х хв. Витік не допускається.

ПНН НУК 131.22.61.22.02.СК				Лист		Маса		Нашпаф	
Змішувач				У		11		1	
				Лист		Лист		Лист	
61-ТЕМмаг-21				Нашпаф		Нашпаф		Нашпаф	
				Нашпаф		Нашпаф		Нашпаф	

Копія

А2

Мін. № подл.	Вам. инв. №	Мін. № подл.	Лист. в док.	Лист. в док.	Лист. в док.
Лист. в док.	Лист. в док.	Лист. в док.	Лист. в док.	Лист. в док.	Лист. в док.

