

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

Кафедра «Енергетичне машинобудування»

«Допущений до захисту»
Завідувач кафедри

«___» _____ 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»

на тему: Підвищення ефективності стаціонарного двигуна внутрішнього згоряння
потужністю 400 кВт шляхом модернізації системи подачі газового палива.

Прототип – 6ГЧН25/34

Виконав: студент групи 41-ЕМ-21з

Маніта О.В. **Маніта О.В.**

Керівник роботи:

викладач

(посада, науковий ступень, вчене звання)

Дубовець А.І. **Дубовець А.І.**
(підпис)

Первомайськ - 2025 р.

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

Факультет – Інженерно-економічний

Кафедра «Енергетичне машинобудування»

Спеціальність 142 – «Енергетичне машинобудування»

Освітня програма «Двигуни внутрішнього згоряння»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Гарант освітньої програми

(підпис)

«___» _____ 2025 р.

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

Студенту Маніта Олександрову Васильовичу

1. Тема роботи: Підвищення ефективності стаціонарного двигуна внутрішнього згоряння потужністю 400 кВт шляхом модернізації системи подачі газового палива.

Прототип – 6ГЧН25/34

Затверджено розпорядженням ПННІ НУК від 10.02.2025 року № 24.

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

3. Вихідні данні по роботі: Двигун-прототип 6ГЧН25/34, номінальною потужністю 400кВт.

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

Розділ 1. Опис конструкції базового двигуна 6ГЧН25/34.

Розділ 2. Розрахунок робочого процесу та динаміки двигуна.

Розділ 3. Розробка системи газопостачання.

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

Висновки.

5. Перелік презентаційних матеріалів.

1. Двигун 6ГЧН25/34 (СК). 2. Заслінка (СК), 4. Двигун-насос (СК), 4. Індикаторна діаграма та діаграми сил, що діють в КШМ, ІД, Схема подачі газу інжекторного типу (СХ)

Консультанти розділів роботи

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

Дата видачі завдання «10» лютого 2024р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

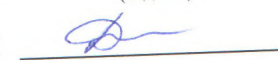
Номер	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ.	24.02.2025	
2	Загальний розділ.	10.03.2025	
3	Конструкторський розділ.	31.03.2025	
4	Розробка системи газопостачання.	07.04.2025	
5	Охорона праці та навколишнього середовища.	14.04.2025	
6	Загальні висновки по кваліфікаційній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

Студент


 (підпис)

Маніта О.В.

Керівник роботи


 (підпис)

Дубовець А.І.

Анотація

сторінок 57, рисунків 6, таблиць 5, бібліографія 11

В кваліфікаційній роботі бакалавра «Підвищення ефективності стаціонарного двигуна внутрішнього згоряння потужністю 400 кВт шляхом модернізації системи подачі газового палива. Прототип – 6ГЧН25/34» приведений опис конструкції двигуна - прототипу 6ГЧН25/34, виконані розрахунки робочого процесу, теплового балансу та динаміки двигуна, проведений аналіз конструкцій впускних колекторів для газових двигунів. Обґрунтована покращена конструкція заслінки дросельної, яка забезпечує надійний пуск та роботу газового двигуна на альтернативному паливі - генераторному газу. Приведені заходи по забезпеченню охорони праці при обслуговуванні двигуна. В графічній частині роботи виконані складальні креслення двигуна, колектора впускного, заслінки дросельної та робоче креслення вісі заслінки, індикаторна діаграма та діаграми сил, що діють в КШМ.

Ключові слова: *Газовий двигун, робочий процес, індикаторна діаграма, діаграми сил, тепловий баланс, колектор впускний, заслінка дросельна.*

Annotation

63 pages, 6 figures, 5 tables, 11 bibliography

In the qualification work "Increasing the efficiency of a stationary internal combustion engine with a capacity of 400 kW by modernizing the gas fuel supply system. Prototype – 6GCHN25/34»

a description of the design of the engine - prototype 6ГЧН25/34, calculations of the working process, heat balance and dynamics of the engine were performed, an analysis of the designs of intake manifolds for gas engines was carried out. Reasonable improved design of the throttle valve, which ensures reliable start-up and operation of the gas engine on alternative fuel -generator gas. Measures to ensure labor protection during engine maintenance are given. In the graphic part of the work, assembly drawings of the engine, intake manifold, throttle valve and a working drawing of the valve axis, an indicator diagram and diagrams of forces acting in the KSHM were made.

Key words: *Gas engine, work process, indicator diagram, force diagrams, heat balance, intake manifold, throttle valve.*

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ	
1.1 Описання електростанції на базі газового двигуна 6ГЧН25/34.....	6
1.2 Загальний устрій електростанції.....	7
1.3 Опис конструкції базового двигуна 6ГЧН 25/34.....	8
1.4 Опис складальних частин двигуна.....	9
2 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	
2.1 Вимоги до проєктованого двигуна та вибір вихідних даних робочого ц циклу.....	28
2.2 Розрахунок робочого процесу газового двигуна.....	30
2.3 Розрахунок індикаторної діаграми	42
2.4 Динамічний розрахунок двигуна.....	46
2.5 Розрахунок теплового балансу газового двигуна.....	51
3 РОЗРОБКА СИСТЕМИ ГАЗОПОСТАЧАННЯ	
3.1 Опис системи газопостачання	57
3.2 Описання газогенераторної установки.....	66
3.3 Розрахунки елементів паливної системи двигуна	71
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	
4.1 Заходи з охорони праці.....	74
4.2 Захист навколишнього середовища	77
4.3 Заходи зниження токсичності та димності відпрацьованих газів.....	80
4.4 Заходи щодо зниження шуму та вібрації.....	82
4.5 Техніка безпеки при експлуатації двигуна.....	85

					ПІННІ НУК 142.41.25.02 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Маніта			Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Дубовець					3	96
Н. Контр.		Дубовець						
Затверд.		Нестеренко				41-ЕМ-21з		

ВИСНОВКИ.....	88
ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ.....	89

ДОДАТКИ

ДОДАТОК 1 Загальний вид електростанції, А1

ДОДАТОК 2 Двигун 6ГЧН25/34, СК, А1

ДОДАТОК 3 Схема газогенераторної установки, СП., А1

ДОДАТОК 4 Заслінка ,СК., А2

ДОДАТОК 5 Діаграма індикаторна та сил, що діють на КШМ

ДОДАТОК 6 Схема подачі газу в двигун, СП., А1

					ПННІ НУК 142.41.25.02 ПЗ	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Двигуни внутрішнього згоряння (ДВЗ) застосовуються в усіх галузях народного господарства та є джерелом енергії для різноманітних енергетичних установок. Проте постійне погіршення екологічної ситуації в районах експлуатації дизельних двигунів ставить перед машинобудівниками завдання вдосконалення робочого процесу в ДВЗ. Одним із ефективних шляхів вирішення цієї проблеми є конверсія дизельних двигунів у газові, зокрема на природному газі.

Завдяки своєму хімічному складу природний газ забезпечує практично нульовий рівень викидів твердих частинок. Водночас масовий перехід на газові двигуни, навіть часткова заміна дизельних установок, які наразі експлуатуються, залишається складною та фінансово затратною задачею. Однією з головних причин переходу на газ є кращі екологічні характеристики природного газу, обумовлені його фізико-хімічними властивостями. Це дозволяє двигунам відповідати сучасним, усе жорсткішим екологічним стандартам при відносно низьких матеріальних витратах.

Газові двигуни працюють тихіше у порівнянні з аналогічними дизельними — в середньому на 10 дБ, що сприяє зменшенню шумового навантаження на довкілля. Крім того, завдяки газоподібному стану палива у таких двигунах відсутні проблеми гомогенізації паливоповітряної суміші, притаманні двигунам на рідкому паливі. Це забезпечує більш повне згоряння палива, знижує викиди СО та СН, практично повністю усуває викиди твердих частинок, а також зменшує рівень СН під час холодного запуску.

Ще однією перевагою є відсутність розрідження моторної оливи паливом, оскільки газ не осідає на стінках циліндрів і не стікає в картер. Завдяки цьому ресурс двигуна при переході на газ може збільшитися приблизно вдвічі.

У даному дипломному проекті розглядається спрощений варіант розробки інжекторної системи подачі газу, що сприяє підвищенню технічних характеристик двигуна та зниженню його екологічного впливу.

					ПННІ НУК 142.41.25.02 ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

При розробці електростанції, на базі двигуна внутрішнього згоряння, що може забезпечити електроенергією споживачів загальною потужністю 400 кВт, в якості базового двигуна був обраний двигун 6ГЧН25/34.

Двигун-генератор призначений для установки на стаціонарних електростанціях як утилізатор рослинних відходів для живлення електроенергією змінного струму різних споживачів в режимі паралельної роботи з електричною мережею.

Автоматизований двигун-генератор ДвГА-400 призначений для використання на електростанціях в якості основного або допоміжного джерела електроенергії змінного трифазного струму в режимі автономної або паралельної роботи між собою чи з промисловою мережею.

Двигун-генератор складається з газового двигуна 6ГЧН25/34 і синхронного генератора перемінного струму, змонтованих на сумісній рамі.

В даній роботі пропонується використати в якості основного палива для 6-циліндрового газового двигуна серії ГЧН25/34 генераторний газ.

1.1 Описання електростанції на базі газового двигуна 6ГЧН25/34

Стаціонарна автоматизована електростанція потужністю 410 кВт на базі двигун-генератора ДвГА-400, розміщена в приміщенні на бетонному фундаменті, призначена для використовування як основне та резервне джерело електропостачання трифазним змінним струмом для промислових і комунальних об'єктів. Режим роботи – паралельний з електричною мережею необмеженої потужності.

Електростанція забезпечує тривалу надійну роботу за наступних умов:

- температура повітря, що оточує двигун-генератор від +8 до +45°C;
- температура зовнішнього повітря від -22 до +47°C;
- відносна вологість не більш 88%;

					ПННІ НУК 142.41.25.02 ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- висота над рівнем моря до 1000 м;
- сейсмічність за шкалою Ріхтера до 8 балів.

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

1.2 Загальний устрій електростанції.

Опис елементів розміщення та інженерного забезпечення електростанції

Силова установка розміщена на бетонному фундаменті, що забезпечує зниження рівня вібрацій і шуму під час роботи двигуна. У машинному приміщенні електростанції також розташовано допоміжне обладнання для обслуговування двигуна, зокрема:

- Стационарні циркуляційні насоси системи охолодження з електричним приводом;
- Балони пускового повітря;
- Балони для господарських потреб;
- Повітряний компресор для закачування повітря у балони.
- Розподільчий електричний щит та силовий щит винесені до окремого приміщення для спостереження з метою підвищення безпеки та зручності обслуговування.

Безпосередньо біля двигуна в машинному залі розташовані:

- Бак для мастила;
- Розширювальний бачок системи охолодження.
- Блок охолодження циркуляційної води зовнішнього контуру (радіаторний блок) встановлений у відгородженій частині машинного приміщення, що сприяє оптимальній тепловій ізоляції.
- Глушник-іскрогасник та блок газової апаратури винесені за межі приміщення електростанції, що відповідає вимогам пожежної безпеки та знижує рівень шуму всередині приміщення.

					ПННІ НУК 142.41.25.02 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вентиляційна система складається з легкознімного зонта, через який повітря потрапляє до витяжного трубопроводу, а також забезпечується проточна вентиляція для постійного оновлення повітря в приміщенні.

Для обслуговування обладнання передбачено підвісний кран вантажопідйомністю 0,5 тонни з висячою колодкою та кнопками керування.

Додатково машинне приміщення обладнане автоматизованою системою протипожежного захисту, що підвищує загальний рівень безпеки експлуатації.

1.3 Опис конструкції базового двигуна 6ГЧН 25/34

Двигун відноситься до складу середньо-обертових двигунів і призначений для використання в якості приводу генератора.

Газовий двигун 6ГЧН25/34 – чотирьохтактний, тронковий, простої дії, з газотурбінним наддувом, нереверсивний, з циліндровою потужністю $Ne_{ц} = 67$ кВт при 500 хв^{-1} .

Двигун 6ГЧН25/34 повністю закапотований. Рама двигуна зварної конструкції. Кришка циліндра – індивідуальна для кожного циліндра, відлита з високопробного чавуну, з'єднується з блоком чотирма силовими шпильками. Втулка циліндра відлита з чавуну, вставна. В нижній частині порожнина охолодження між блоком та втулкою ущільнюється двома резиновими кільцями круглого перетину.

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

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

Поршень – суцільний, чавунний, охолоджуємий маслом.

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

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

					ПННІ НУК 142.41.25.02 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

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

Технічні характеристики двигуна

1. Діаметр циліндра, D.....0,25 м.
2. Хід поршня, S.....0,34 м.
3. Ефективна потужність двигуна, P_e400 кВт.
4. Частота обертання, n500 хв⁻¹
5. Питома витрата палива, g_e 0,28 м³/кВт·г.

1.4 Опис складальних частин двигуна

Фундаментна рама

Опис фундаментної рами двигуна 6ГЧН25/34

Фундаментна рама двигуна виготовляється з чавуну та може бути як суцільноливою, так і зварно-складовою конструкцією. Вона має коритоподібну форму, обладнана поперечними перегородками та посилена ребрами жорсткості для підвищення міцності та зниження вібрацій.

Внутрішня порожнина рами виконує функцію маслосбірника — в неї стікає мастило з тертьових деталей двигуна, а також мастило після охолодження поршнів.

У постелях, розточених у поперечних перегородках рами та кришках, встановлюються вкладиші рамових підшипників колінчастого вала.

По обидва боки фундаментної рами, по всій довжині, розміщені приливи з отворами для болтів, що забезпечують кріплення двигуна до рами.

					ПННІ НУК 142.41.25.02 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

З боку вільного кінця колінчастого вала до рами кріпиться кришка, на яку встановлюється масляний насос. З боку маховика розміщено кожух фланця колінчастого вала, обладнаний масловідбивним кільцем та сальниковим ущільненням.

У днищі фундаментної рами передбачені два зливних отвори для зливу мастила: один — біля переднього торця, інший — у центральній частині.

На площині з'єднання блоку циліндрів із фундаментною рамою передбачена ущільнювальна канавка, в яку укладається гумовий ущільнювальний шнур, що запобігає витіканню мастила та забезпечує герметичність з'єднання.

Блок-картер

Блок-картер (рис. 1.1)

Блок-картер виготовлений з чавуну. У його верхній частині розташовані втулки робочих циліндрів. Простір між втулками та стінками блоку утворює сорочку охолодження, призначену для циркуляції холодної води, яка забезпечує ефективне тепловідведення від втулок.

Ущільнення порожнини охолодження забезпечується за допомогою мідної прокладки, встановленої під верхній борт втулки, та двох гумових ущільнювальних кілець, розміщених у кільцевих виточках на нижній частині втулки.

У проточці на верхньому торці втулки також встановлюється мідна прокладка, яка додатково запобігає витoku охолоджувальної рідини.

В отворах поперечних перегородок блоку встановлюються анкерні пов'язі, що забезпечують додаткову жорсткість конструкції.

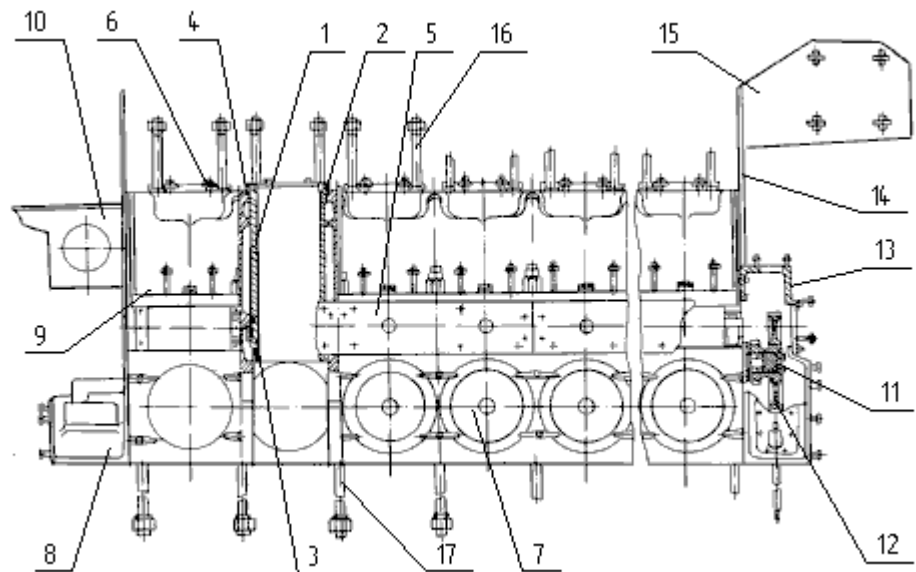
Нижня частина блоку одночасно виконує функцію частини картера двигуна.

					ПННІ НУК 142.41.25.02 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

З боку розподільчого механізму по всій довжині блоку проходить горизонтальна полиця, на якій встановлені корпуси штовхачів впускних і випускних клапанів.

У порожнині під полицею розміщується розподільчий вал, підшипники якого забезпечують його підтримку. Один із підшипників — упорний перший від маховика) — виконує функцію фіксації осьового положення вала.

Порожнина вала закрита щитами, що забезпечує її герметичність і захист від



зовнішніх впливів.

Рисунок 1.1 Блок-картер

1- втулка робочого циліндра; 2,4-прокладка; 3-кільце ущільнююче; 5,7-щит закриття; 6-переливний патрубок; 8-кожух передній; 9,14-щит; 10,15- кронштейн; 11-валик; 12-комплект проміжних шестерень; 13-кожух привода розподільного валу; 16-шпилька; 17-анкерна шпилька

Для доступу до механізму руху і рамових підшипників в нижній частині блоку з обох сторін передбачені люки зачинені кришками.

На кришках люків зі сторони випуску встановлені запобіжні клапани.

До переднього торця блоку кріпиться щит з кронштейнами для встановлення турбокомпресора. До заднього торця блоку кріпляться валик з комплектом проміжних шестерень, кожух шестерень привода 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.

					ПННІ НУК 142.41.25.02 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

У верхню полицю блоку укрупнені шпильки для кріплення кришок робочих циліндрів.

Рамовий підшипник

Кожен рамовий підшипник складається з нижнього і верхнього вкладишів, кришки підшипників з деталями кріплення. Вкладиші сталєво-бабітові.

Від обертання і осьового зміщення вкладиші утримуються виступами.

Упорний вкладиш від маховика має бронзові напівкільця, розташовані у виточках фундаментної рами. Упорні напівкільця можуть вийматися без виймання колінчастого валу.

Вкладиші у вільному стані мають перевищення по площині роз'єму відносно розточок в кришці і рамі, дякуючи чому після обтиску підшипника забезпечується щільне прилягання зовнішніх поверхонь вкладишів до поверхонь розточок в кришці рами. Вкладиші підшипників можуть вийматися та встановлюватися без виймання колінчастого валу за допомогою спеціальних пристроїв.

Масило в підшипники надходить з головної магістралі по трубі і отвору в кришці. З рамового підшипника, масло по каналам в колінчастому валі подається до шатунних підшипників.

Звідти масло по каналам в стрижнях шатуна подається до головних підшипників і на охолодження головки поршня.

Кільцева канавка на внутрішній поверхні верхнього вкладишу рамового підшипника забезпечує безперервне надходження мастила до шатунних підшипників.

Втулка робочого циліндра

Втулка робочого циліндра виготовлена з чавуну, вставна. Нижній кінець втулки не закріплений і вона вільно подовжується при нагріванні під час роботи двигуна.

					ПННІ НУК 142.41.25.02 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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 циліндра

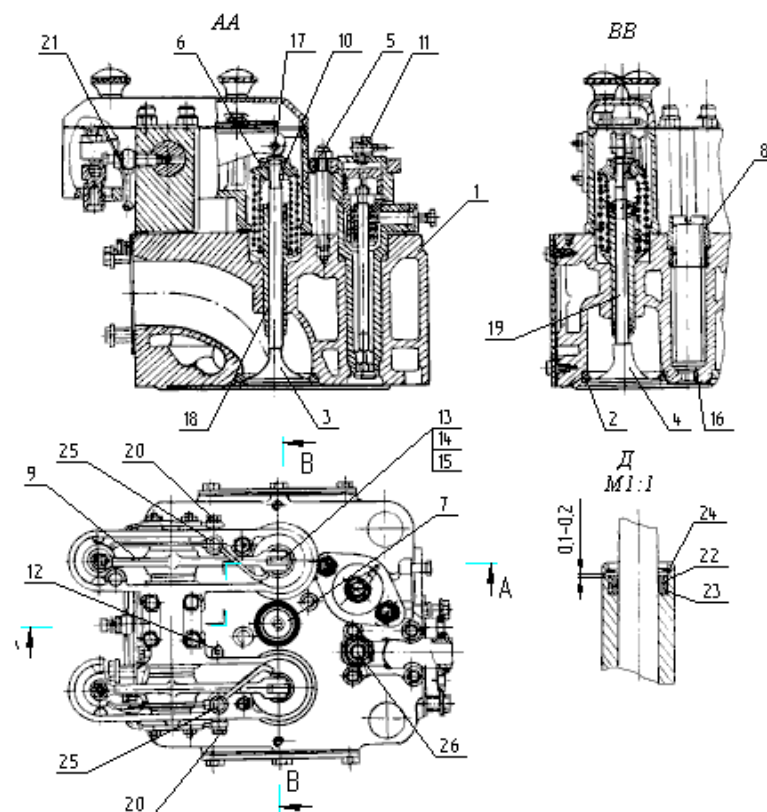


Рисунок 1.2 Кришка робочого циліндра.

1-кришка; 2-сідло клапана; клапан 3-впускання; 4-випускний клапан; 5-зовнішня пружина; 6-внутрення пружина; 7-свічка; 8-втулка різьбова; 9-коромисло; 10-тарілка верхня; 11-пусковий клапан; 12-шпіндель; 13-ролик коромисла; 14-вісь коромисла; 15-пружина; 16-мідна прокладка; 17-сухар замку клапана; 18-втулка клапана впускання; 19-втулка випускного клапана; 20-ніпель; 21-штуцер; 22-прокладки; 23-фторопластове кільце; 24-стопорне кільце; 25-дросель; 26-стіяка.

Кришка робочого циліндру (рис.1.2) виготовлена з чавуну, окрема для кожного циліндру, кріпиться до блок-картеру чотирма шпильками, які затягуються в перехресному порядку. Величина витяжки шпильок повинна бути в межах 0,3-0,33 мм. На днищі кришки є бурт, який входить в проточку на втулці робочого циліндру. Під бурт для ущільнення камери згоряння

					ПННІ НУК 142.41.25.02 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

встановлюється прокладка з відпаленої червоної міді. Вибором товщини цієї прокладки встановлюється висота камери згоряння. На стояках встановлена вісь, на якій розташовані два коромисла для приводу робочих клапанів. Змащення їх підшипників відбувається мастилом з системи мащення двигуна.

На одному кінці коромисла є регулюючий гвинт з кухлевою головкою, що входить у сферичне заглиблення верхнього наконечника штанги штовхача.

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

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

Закриття кришки циліндра складається з корпусу закриття і легкоз'ємної кришки. На кришці змонтовані пусковий клапан, запобіжний клапан і індикаторний кран, які встановлені на спеціальному фланці.

Гайки силових шпильок кріплення кришки циліндра до блоку передбачено затягувати за допомогою гідродомкратів.

Зі сторони випуску розміщений пусковий клапан, зі сторони впуску запобіжний клапан.

Індикаторний кран встановлюється на кожній кришці циліндра, служить для приєднання приладу для виміру тиску в циліндрі.

На корпусі є з одного боку різьблення для укручування крана в переходник, з іншою – різьблення для приєднання приладів. Індикаторний кран відкривається і закривається вручну за допомогою ключа, що знаходиться в комплекті інструменту.

Кривошипно-шатунний механізм

Кривошипно-шатунний механізм (КШМ), до якого входять: колінчастий вал, шатуни та поршні, призначений для перетворення поступального руху поршня у обертальний рух колінчастого валу.

					ПННІ НУК 142.41.25.02 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Колінчастий вал

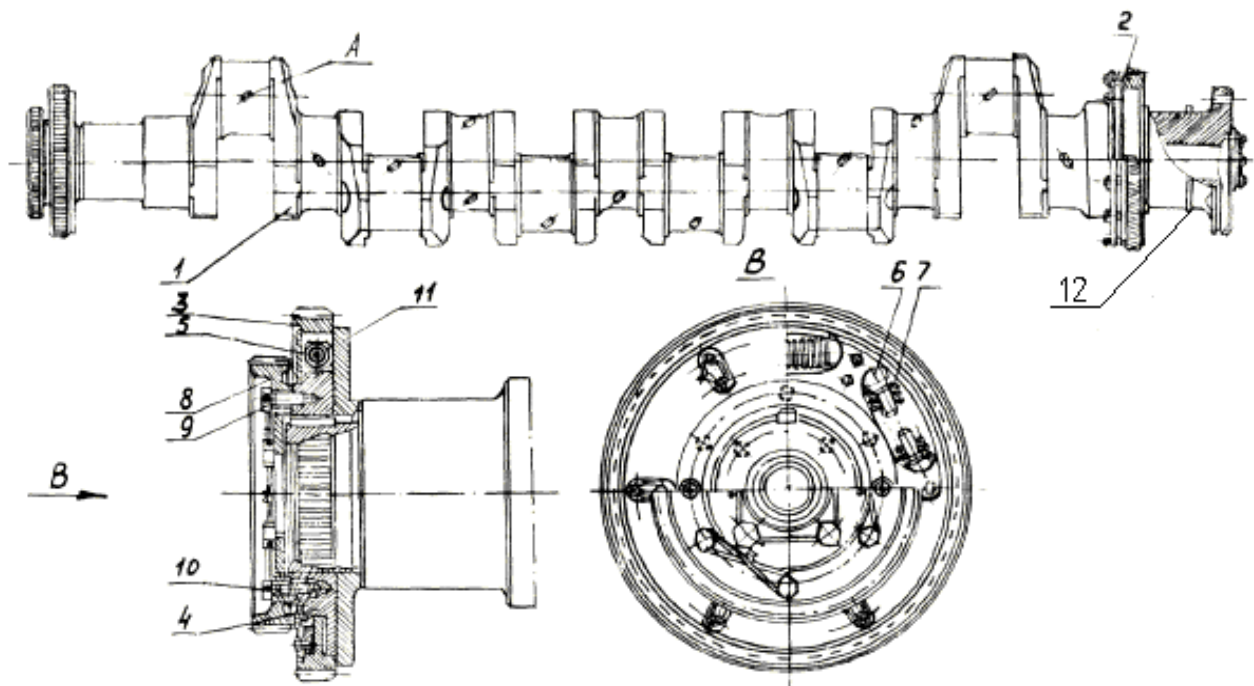


Рисунок 1.3 Колінчастий вал

1- колінчастий вал; 2-шестерня колінчастого валу; 3-шестерня приводу водяного насоса; 4-ступиця; 5-диск; 6-грибок; 7-пружина; 8-шестерня приводу масляного насоса; 9,10-болти; 11-кільце упорне; 12-масловідбивач

Колінчастий вал (рис.1.3) сталевий, суцільно кований, має вісім рамових і шість шатунних шийок, при цьому остання рамова шийка не використовується.

Кривошипи двигуна 6ГЧН25/34 розташовані по відношенню один до одного під кутом 120° .

Масило з канавок рамових підшипників поступає до шатунних підшипників по каналах, які з'єднують рамові шийки з шатунами, оминаючи внутрішні порожнини шийок.

Для викочування вкладишів рамових підшипників використовуються свердлення для проходу масла.

На передньому кінці валу встановлені шестерні приводу масляного насосу.

Шестерня приводу масляного насоса болтами і штифтами жорстко сполучена з матчиною демпфуючої шестерні, пружними елементами якої є шість пружин з грибками. Від осьового зміщення шестерня утримується

					ПННІ НУК 142.41.25.02 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

упорним кільцем з одного боку і кільцем опорним та чотирма болтами з другого боку.

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 вала, яка призначена для приводу розподільного валу через проміжну пару шестерень. Від осьового переміщення утримується шістьма притисками, які кріпляться болтами. За останньою рамовою шийкою валу є масло відбивач, який перешкоджає потраплянню мастила на фланець кріплення маховика, що під тиском виходить з останнього рамового підшипника.

Шатун

Шатун (рис1.4) 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.

У розточування верхньої головки шатуна запресована бронзова втулка, яка є головним підшипником. На внутрішній поверхні втулки виконані кільцева канавка і вісім отворів.

Мастило з каналу поступає в кільцеву канавку у верхній головці шатуна, а потім в розпилювач на охолодження поршня і одночасно через отвори втулки – в кільцеву канавку на змащування поршневого пальця.

У нижній головці шатуна розташовані тонкостінні сталєалюмінієві вкладиші шатунного підшипника. Від провертання і осьового переміщення вкладиші утримуються штифтом і шатунними болтами.

					ПННІ НУК 142.41.25.02 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

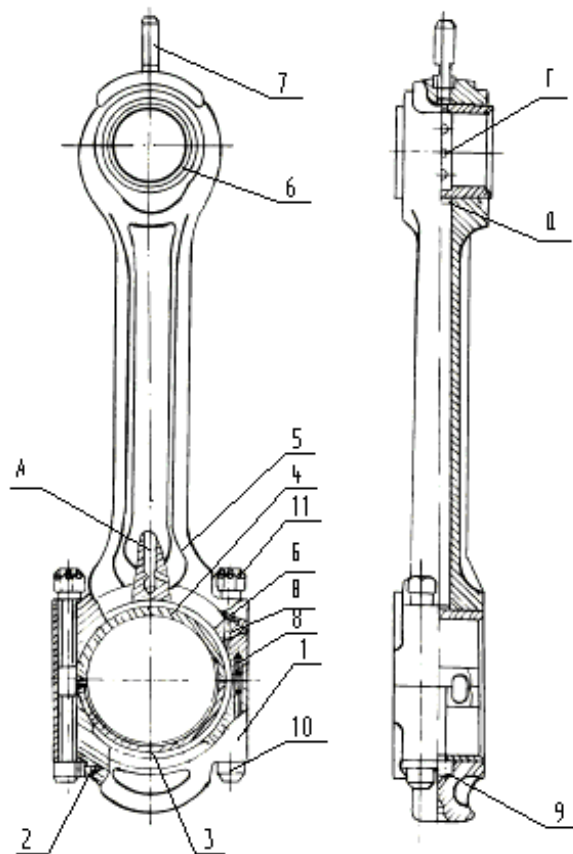


Рисунок 1.4 Шатун

1- кришка шатунного підшипника; 2,8-штифт; 3-вкладиш нижній; 4-вкладиш верхній;
5-стержень шатуна; 6-втулка; 7-розпилювач; 9-штифт; 10-болт шатунний;
11-гайка шатунного болта

Кришка шатунного підшипника кріпиться до стрижня шатуна чотирма шатунними болтами. Взаємне положення стрижня і кришки фіксується штифтом.

Шатунні болти виготовлені з високолегованої сталі. Гайки шатунних болтів після затягування стопоряться дротом від мимовільного відгвинчування. На обох кінцях шатунного болта виконані лиск, відстані між якими, заміряне з точністю до 0,01 мм, нанесено на головці шатунного болта і служить для контролю залишкового подовження болта при експлуатації двигуна.

Гайки повинні затягуватися по черзі, в перехресному порядку, в два прийоми, рівномірно.

Різниця шатунів по вазі на одному двигуні не повинна бути більше 0,5 кг.

Маховик

Маховик призначений для забезпечення заданого ступеня нерівномірності обертання колінчастого валу.

Маховик 1 (рис.1.5) виготовлений із сталі, жорстко кріпиться до фланця колінчастого валу і генератора двигуна 6ГЧН25/34 за допомогою 4-х призонних болтів і 4-х «чорних» болтів.

На торці маховика з боку двигуна до маховика кріпляться два ударники 2 механізми безпеки.

Для установки і перевірки кута випередження запалення і фаз газорозподілу, на ободі нанесені відмітки мертвих крапок для кожного циліндра і відмітки кутів повороту валу з інтервалом 5, а також є отвори 3 для провертання колінчастого валу воротком і різьбові отвори для рим-болтів.

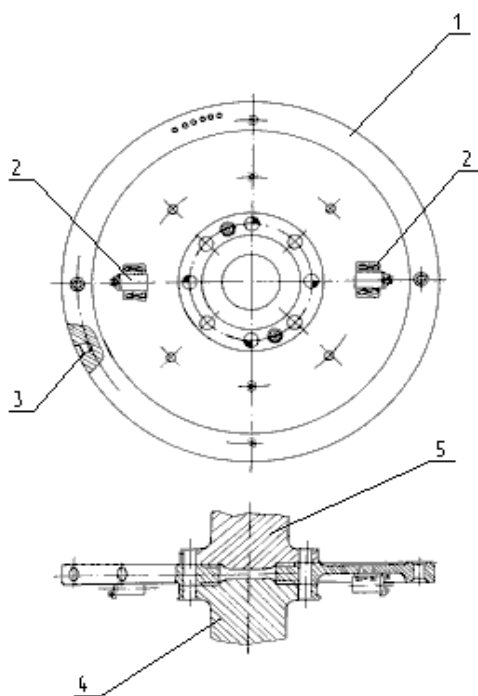


Рисунок 1.5 Маховик

1- маховик; 2-ударники; 3-отвори для провертання; 4-колінчастий вал; 5-вал генератора

На торцевій поверхні обода маховика двигунів з боку кріплення його до фланця колінчастого валу є 180 отворів і встановлений штифт 6 (84° після ВМТ першого циліндра), які призначені для створення імпульсів датчиками системи запалення і регулятора швидкості при його обертанні, встановлених на кронштейні з боку всмоктування.

Механізм газорозподілу

Механізм газорозподілу призначений для управління впусканням свіжого заряду газоповітряної суміші в циліндри двигуна і випуском відпрацьованих газів з них відповідно до встановлених фаз.

У механізм входять: розподільний вал з кулачковими шайбами, привід розподільного валу, привід випускних і впускних клапанів.

Розподільний вал

Розподільний вал 1 (рис.1.8) сталевий, цільний, змонтований на семи підшипниках для двигунів 6ГЧН25/34 розташованих в порожнині під горизонтальною полицею блок-картера. Крайній до маховика підшипник опорно-наполегливий.

На розподільний вал на шпонках насаджені сталеві із загартованою поверхнею випускні і впускні кулаки. Всі кулаки на розподільчому валі розташовані в певній послідовності залежно від порядку роботи циліндрів. Фази газорозподілу для одного циліндра показані на рис. 10. На конусний кінець валу на шпонці насаджена приводна шестерня 7, яка складається з маточини і зубчатого вінця, жорстко сполучених між собою призонними болтами. Від осьового зсуву шестерня утримується гайкою 18. До заднього торця валу за допомогою шпонки і болта кріпиться пусковий кулак 4.

На нульовій шийці розподільчого валу встановлений упорний підшипник (рис.1.7). Він складається з двох бронзових кілець 20, втулки 21, 2-х сталевих напівкілець 22, що входять в проточку валу, упорної втулки 23 і набору регульованих прокладок 24, розташованих між сталевими півкільцями 22 і втулкою 21.

До переднього торця валу, після ущільнення манжета, кріпиться на шпонці диск датчика 14 з прапорцем 15, який при обертанні створює в зоні датчика імпульси, забезпечуючи цим роботу системи запалення.

					ПННІ НУК 142.41.25.02 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

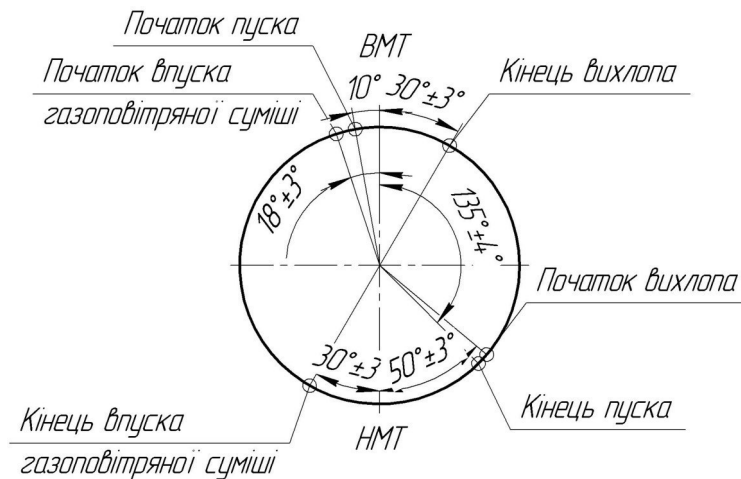


Рисунок 1.6 Діаграма фаз газорозподілу

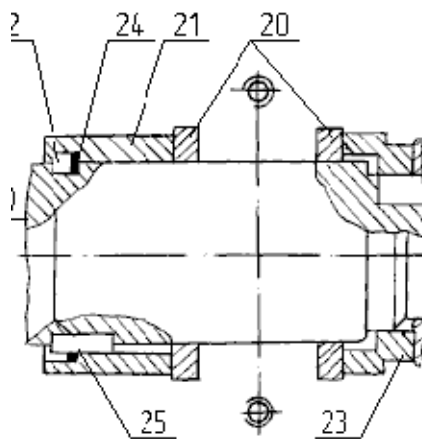


Рисунок 1.7 Упорний підшипник
20- кільце; 21-втулка; 22-напівкільце; 23-упорна втулка; 24-набір прокладок; 25-шпонка

Привід клапанів

Привід впускних і випускних клапанів (рис. 1.8) складається з штовхачів, штанг і коромисел. У корпусі штовхача рухається повзун 10 з віссю 12, на якій обертається ролик 11. У повзун запресований упор із загартованою сферичною поверхнею, на яку спирається нижній кінець штанги 13. Верхній кінець штанги упирається в опору коромисла.

При роботі двигуна кулаки розподільного валу впливають на ролики штовхачів, які в свою чергу, перекочуючись за профілем кулачкових шайб, перетворюють обертальний рух розподільного валу в поступальну ходу повзуна штовхача і періодично впливають через упори, штанги, нажимні болти на

					ПННІ НУК 142.41.25.02 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

коромисла. Коромисла повертаються навколо вісей, встановлених в корпусах на кришках циліндрів, відкриваючи впускні і випускні клапани. Закриття клапанів і поворотний рух механізму приводу відбувається під впливом пружин клапанів.

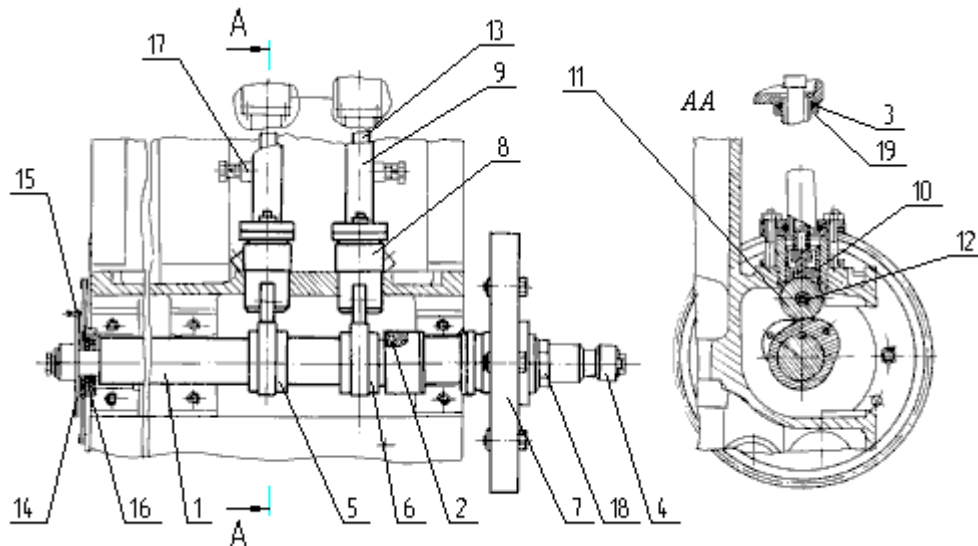


Рисунок 1.8 Привід клапанів

1-вал розподільний; 2-прокладка (набір); 3-кільце ущільнююче; 4-пусковий кулак; 5-кулак впускний; 6-кулак випускний; 7-шестерня розподільного валу; 8-штовхач; 9-кожух; 10-повзун; 11-ролик; 12-вісь; 13-штанга; 14-диск датчика; 15-штифт; 16-ущільнення; 17-бобишка; 18-гайка; 19-фланець

Штанга 13 приводу клапана поміщена в кожух 9, який ущільнюється фланцями і гумовими кільцями 3. Штанга спільно з корпусом приводу клапанів утворює герметичну систему, що виключає викид продуктів згорання в приміщення і надійне мастило пар приводу клапанів, що труться. До кожухів 9 приварені бобишки 17 до яких приєднуються трубки відведення масла від кришок циліндрів.

Масло для мастила повзуна, ролика і упору підводиться автономно від масляної магістралі по каналу в корпусі штовхача, крім того, масло, що зливається з кришки циліндра, додатково мастить штовхач і ролик.

Поршень

Поршень (рис.1.9) суцільнолитий, овальний, виготовлений з чавуну, охолоджуваний і має канавки, в які встановлюються компресійні і маслоз'ємні кільця.

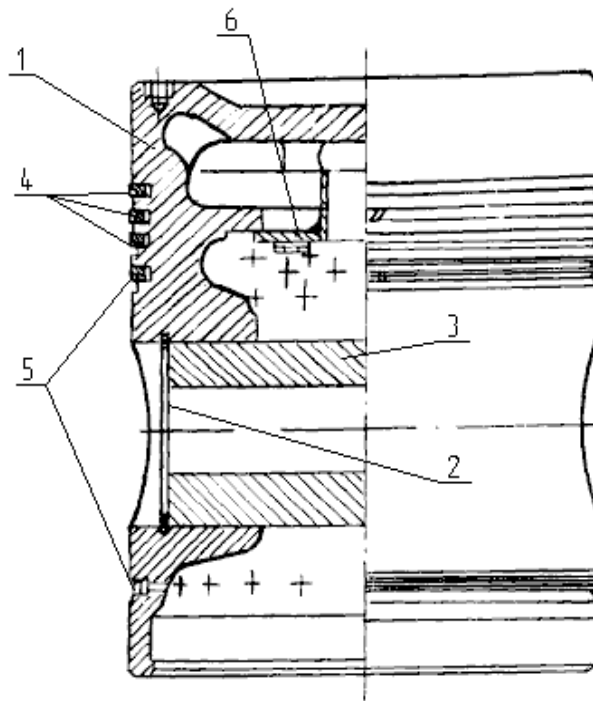


Рисунок 1.9 Поршень

1- поршень; 2-стопорне кільце; 3-палець; 4-кільце компресійне; 5-кільце маслоз'ємне;
6-діафрагма

У днищі поршня виконане трапецієвидне поглиблення – 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.

Кільця виготовлені з високоміцного чавуну.

Комплект поршневих кілець складається з трьох компресійних і двох здвоєних маслоз'ємних кілець (конструктивно відмінних). Компресійні і маслоз'ємні кільця мають в перетині прямокутну форму і прямий замок. Верхнє і середнє кільце з зносостійким покриттям (хромоване), нижнє – без напилення,

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

фосфатовані. Маслоз'ємні кільця мають гострі кромки, які при установці в канавки повинні бути направлені вниз. Цими кромками при ході поршня вниз з дзеркала циліндра знімається мастило, яке через отвори в поршні стікає в картер.

Поршневі кільця не зафіксовуються від провертання в канавках. При установці поршня у втулку циліндра замки поршневих кілець повинні бути зміщені щодо один одного на кут 90° і розташовані по гвинтовій лінії.

Різниця поршнів по вазі на одному двигуні не повинна бути більше 0,5 кг.

Система пуску

Система дозволяє запускати двигун стислим повітрям, яке подається в циліндри, при будь-якому положенні колінчастого валу.

Процес пуску виконується місцевим (на двигуні) або дистанційним відкриттям (натисненням кнопки) головного пускового клапана. При цьому стисле повітря подається до розташованих в циліндрах пускових клапанів (спочатку ці клапани закриті) і одночасно до розподільника повітря. Розподільник повітря відкриває доступ управляючого повітря до пускового клапана, коли поршень відповідного циліндра знаходиться у В.М.Т., перед тактом робочого ходу. Тиск управляючого повітря відкриває пусковий клапан в циліндрі і тим самим дозволяє повітрю з головної магістралі заповнити цей циліндр. Тиск стислого повітря на поршні приводить в обертання кривошипно-шатунний механізм двигуна. Коли досягається частота обертання, при якій запалає газоповітряна суміш від свічок запалення, двигун запускається.

Після пуску, відпуском кнопки головний пусковий клапан закривається.

На головній магістралі встановлено запобіжний пристрій, який оберігає вузли системи від руйнування при прориві вихлопних газів, у разі зависання пускових клапанів.

					ПННІ НУК 142.41.25.02 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Система змащення

Система змащення двигунів комбінована, під тиском і розбризкуванням (рис. 1.10). Під час роботи двигуна система забезпечує безперебійне надходження мастила до всіх деталей, що труться, і вузлів.

У систему змащення входять: приймальний фільтр 10, двохсекційний масляний насос 8 і 3, фільтр мастила 9, охолоджувач мастила 5, центрифуга, електронасосний агрегат передпускового прокачування мастила 7, бак мастила 2, система трубопроводів.

Мастило з фундаментної рами через приймальний фільтр 10 засмоктується секцією насоса, що відкачує 8, і поступає по трубі до центрифуг 1 і потім в бак 2. При підвищенні рівня в баку мастило по переливній трубі зливається у фундаментну раму двигуна.

З бака очищене мастило забирається нагнітальною секцією насоса 3 і подається в головну масляну магістраль 11, пройшовши заздалегідь охолоджувач мастила 5, регулятор температури масла 4 і фільтр масла 9.

Залежно від температури масла чутливий елемент регулятора регулює потік масла, направляючи його або через охолоджувач масла, або мимо нього.

З головної магістралі 11 по трубах масло поступає до рамових підшипників, звідти по каналах в шийках і щоках колінчастого валу до шатунних підшипників і по каналах в шатунах до головних підшипників і на охолодження поршнів. З підшипників і поршнів масло стікає в картер двигуна розбризкуючись частинами шатунно-поршневої групи, що обертаються, і, потрапляючи на втулки циліндра, змащує їх.

Електронасосний агрегат передпускового прокачування масла 7 забирає масло з рами двигуна і направляє його до всіх точок мащення перед пуском двигуна або для періодичного прокачування двигун-генераторів гарячого резерву.

Зворотний клапан 6 служить для перекриття доступу масла від електронасосного агрегату 7 і далі в бак масла при прокачуванні двигуна перед

					ПННІ НУК 142.41.25.02 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

пуском, а клапан ба для перекриття надходження масла в бак масла через електронасосний агрегат при роботі двигуна.

Тиск мастила в системі мастила регулюється і підтримується редукційним клапаном, вмонтованим в нагнітальну секцію насоса 3.

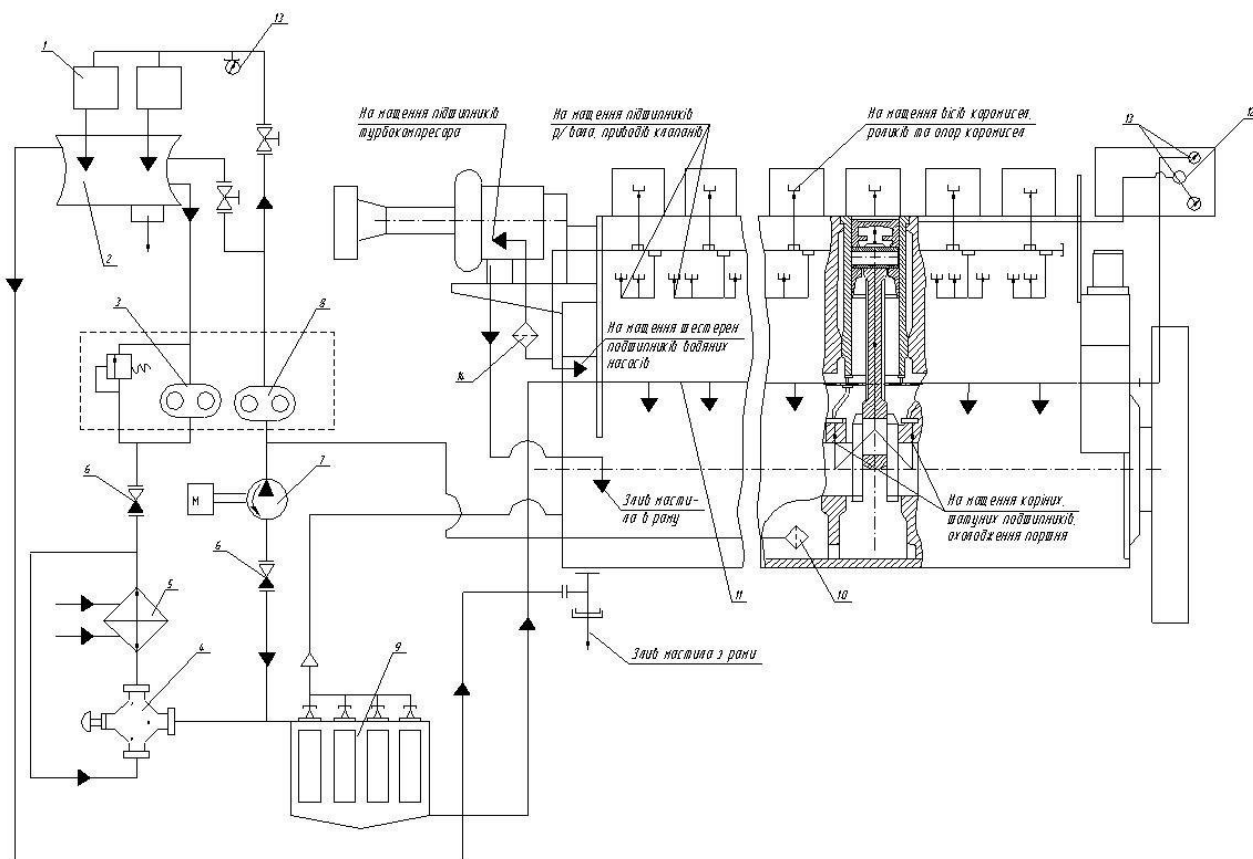


Рис.1.10 Принципова схема системи змащення

- 1- фільтр центробіжного очищення мастила; 2-бак масла; 3,8-насос масляний; 4-регулятор температури; 5-охолоджувач масла; 6-клапан зворотний; 7-агрегат електронасосний; 9-фільтр масла повнопоточний; 10-фільтр приймальний; 11-головна магістраль; 12-термометр; 13-манометр; 14-фільтр масла ТК.

Система охолодження

Система охолодження двигуна 2-х контурна (рис. 1.11), що складається із зовнішнього і внутрішнього контура. Двигун охолоджується прісною водою,

яка циркулює усередині двигуна. У свою чергу вода внутрішнього контура охолоджується проточною водою зовнішнього контура 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 5, бачок води (розширювальний) 6, трубопроводи системи.

Вода внутрішнього контуру насосом 2 по трубі 1 розподіляється уздовж блоку циліндрів, по трубках 3 підводиться до верхньої частини блоку, обтікає верхню частину втулок і по переливних патрубках перетікає в кришку циліндра.

Нижня частина втулки циліндра також омивається водою, підведеною в цю зону через фланці, але швидкість її дуже незначна.

Далі вода поступає в нижні порожнини кришок робочих циліндрів і, охолодивши вогняне днище кришки, проходить через отвори в перегородці у свічки і прямує у верхні порожнини кришок, а звідти по переливних раковинах – в магістраль зливу 7, куди також поступає вода після охолодження турбокомпресора. Потім вода поступає в регулятор температури води 8 і охолоджувач води 5 і далі на всмоктування в насос води 2. Залежно від температури води виходить з двигуна – чутливий елемент регулятора температури регулює потік води, направляючи його в охолоджувач або повз нього.

					ПННІ НУК 142.41.25.02 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

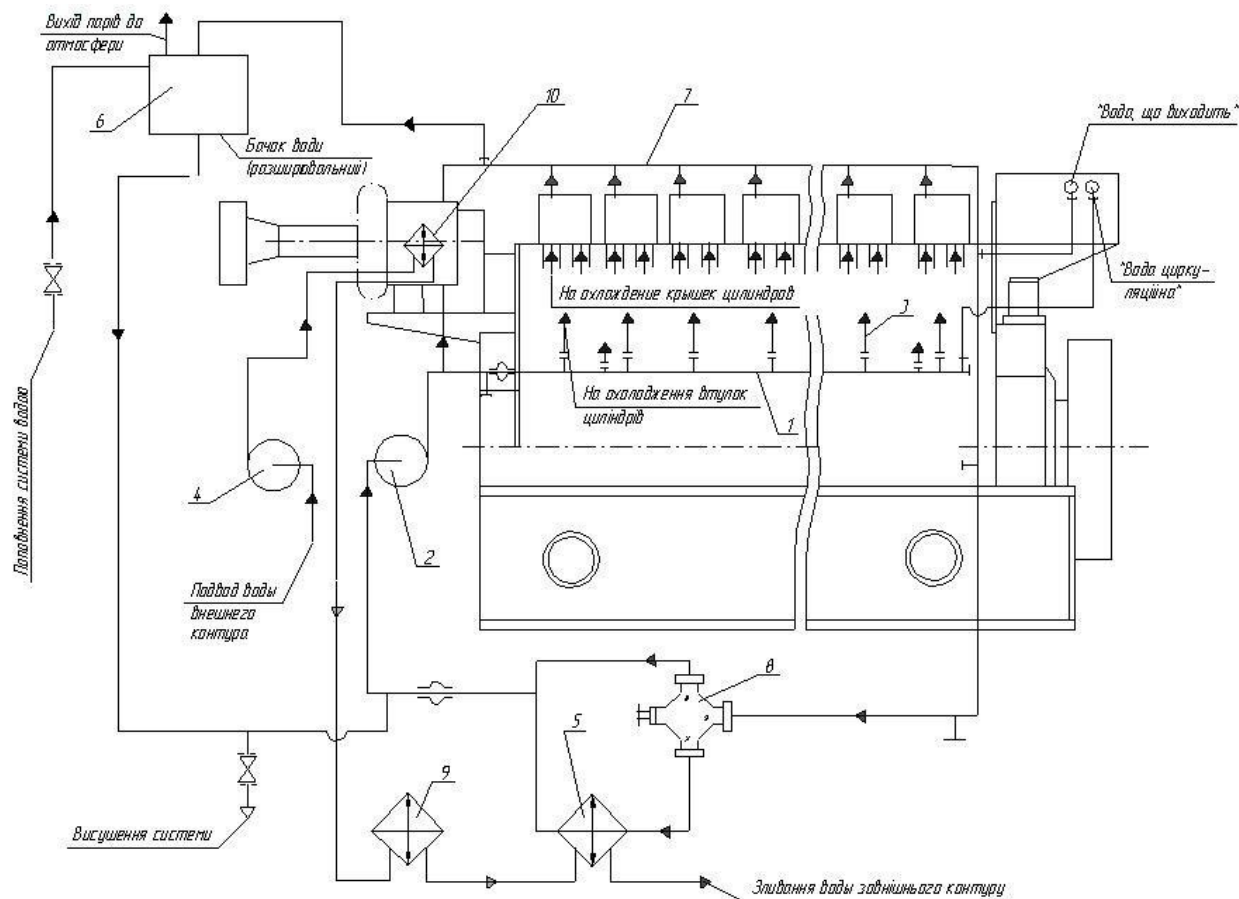


Рис. 1.11 Принципова схема системи охолодження

1-головна магістраль; 2-насос відцентровий (внутрішній контур); 3-труба підведення;
4-насос відцентровий (зовнішній контур); 5-охолоджувач води; 6-бачок води
(розширювальний); 7-труба зливання води; 8-регулятор температури; 9-охолоджувач
мастила; 10-охолоджувач наддувочного повітря (газоповітряної суміші).

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ПННІ НУК 142.41.25.02 ПЗ

Арк.

27

2 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1 Вимоги до проектованого двигуна та вибір вихідних даних робочого циклу

Проектування газового двигуна повинно базуватися на досягненні високої економічності, надійності та екологічної безпеки, що особливо важливо для двигунів, які застосовуються в складі електростанцій. Основними критеріями при розробці є економія палива і мастила, ефективність робочого циклу, надійність конструкції, низький рівень шуму та мінімальна токсичність вихлопних газів.

Для забезпечення економічності необхідно оптимізувати параметри робочого циклу, досягти високого ефективного ККД, а також ретельно продумати конструкцію систем охолодження, змащення, подачі палива й повітря.

Надійність двигуна забезпечується раціональною конструкцією всіх елементів, особливо корпусних деталей і деталей кривошипно-шатунного механізму. Вони мають бути розраховані на дії внутрішніх навантажень в межах допустимих значень напружень. При розрахунках необхідно враховувати умови експлуатації, в тому числі динамічні та теплові навантаження, характерні для електростанційного режиму роботи.

Для зниження рівня шуму застосовуються глушники, а також конструктивні заходи, спрямовані на зменшення вібрацій та шуму у вузлах двигуна. Токсичність вихлопу зменшується шляхом оптимального налаштування параметрів згоряння, кута випередження подачі палива, коефіцієнта надлишку повітря, що особливо важливо при роботі на генераторному газі.

При конструюванні необхідно забезпечити:

- Зручний доступ до основних вузлів двигуна;
- Максимальну взаємозамінність деталей;
- Можливість демонтажу поршня із шатуном через циліндр;

					ПННІ НУК 142.41.25.02 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Мінімізацію кількості навішаних елементів, розміщуючи їх за можливості окремо;

Відсутність зайвого захаращення трубопроводами.

Завдяки сукупності раціональних конструктивних рішень, а також ретельному доведенню двигуна при стендових випробуваннях і в процесі експлуатації, можливо створити надійний, ефективний та сучасний двигун, що відповідатиме актуальним стандартам.

Оскільки двигун буде застосовуватись у складі електростанції, важливими параметрами є:

Частота обертання, яка повинна забезпечити стабільну частоту електричного струму — 50 Гц;

Система регулювання частоти обертання повинна забезпечувати стійку роботу при різних навантаженнях, у тому числі в режимі паралельної роботи з мережею.

- потужність двигун-генератора – 400 кВт;
- паливо – генераторний газ;
- призначення – стаціонарна електростанція.

					ПННІ НУК 142.41.25.02 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2 Розрахунок робочого процесу газового двигуна

Умова завдання:

Ефективна потужність	$P_e =$	400 кВт
Частота обертання колінчастого валу.	$n =$	500 хв ⁻¹
Діаметр циліндра	$d =$	250 мм
Хід поршня	$S =$	340 мм
Ступінь стиску	$\varepsilon =$	10,5
Коефіцієнт надлишку повітря	$\alpha =$	1,5
Число циліндрів	$i =$	6
Коефіцієнт тактності	$z =$	4

Вихідні дані теплового розрахунку.

Тиск наддуву	$P_b =$	180 кПа
Тиск навколишнього середовища	$P_a =$	101,3 кПа
Температура навколишнього середовища	$T_a =$	293 К
Показник політропи стиску для відцентрового насосу	$n_k =$	1,6
Підігрів свіжого заряду	$\Delta T =$	20 К
Тиск залишкових газів	$P_r =$	180 кПа
Температура залишкових газів	$T_r =$	810 К
Ступінь підвищення тиску	$\lambda =$	2,9
Середнє значення показника політропи:		
стиску	$n_1 =$	1,34
розширення	$n_2 =$	1,28
Коефіцієнт використання теплоти в точці "Z"	$\xi_z =$	0,85
Коефіцієнт повноти індикаторної діаграми	$\xi =$	0,97
Нижча теплота згорання газу	$Q_H =$	4940 кДж/м ³

Природний газ

Склад:	в%	В об'ємних долях
метан	$CH_4 =$ 2,2	$R_{CH_4} =$ 0,022
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	$C_5H_{12} =$ 0,3	$R_{C_5H_{12}} =$ 0
вуглекислота	$CO_2 =$ 11,6	$R_{CO_2} =$ 0,116
оксид вуглецю	$CO =$ 18,5	$R_{CO} =$ 0,185
азот	$N_2 =$ 51,9	$R_{N_2} =$ 0,519
кисень	$O_2 =$ 0,5	$R_{O_2} =$ 0,005
водень	$H_2 =$ 15	$R_{H_2} =$ 0,15

100

2.3 Побудова індикаторної діаграми

Розрахунок теоретичної індикаторної діаграми

Вихідні дані:

Середній індикаторний тиск	$P_{mi} = 1,122 \text{ МПа}$
Тиск в кінці впуску	$P_d = 0,166 \text{ МПа}$
Показник політропи стиску	$n_1 = 1,34$
Ступінь стиску	$\varepsilon = 10,5$
Максимальний тиск в циліндрі	$P_{max} = 10, \text{ МПа}$
Показник політропи розширення	$n_2 = 1,28$
Ступінь попереднього розширення	$\rho = 1$
Маштаб по осі тиску	$m_p = 0,05 \text{ МПа/мм}$

Розрахунок лінії стиску.

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

де V/V_c – змінний об'єм.

$$P_{ст_1} = \frac{0,166 \times 10,5^{1,34}}{1^{1,34}} = 3,88 \text{ МПа}$$

$$P_{ст_{10,5}} = \frac{0,166 \times 10,5^{1,34}}{10,5^{1,34}} = 0,166 \text{ МПа}$$

Розрахунок лінії розширення.

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

$$P_{роз_1} = \frac{10,011 \times 1^{1,28}}{1^{1,28}} = 10,011 \text{ МПа}$$

$$P_{роз_9} = \frac{10,011 \times 1^{1,28}}{10,5^{1,28}} = 0,493 \text{ МПа}$$

Результати розрахунків зводимо в таблицю 2.1.

					ПІННІ НУК 142.41.25.02 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.1 Результати розрахунків теоретичної індикаторної діаграми

V/V_c	$P_{ст}, \text{МПа}$	$P_{ст}, \text{мм}$	$P_{роз}, \text{МПа}$	$P_{роз}, \text{мм}$
1	3,88	77,6	10,011	200,2
2	1,53	30,6	4,123	82,46
3	0,901	18	2,453	49
4	0,605	12,1	1,697	34
5	0,449	9	1,276	25,5
6	0,351	7,2	1,011	20,2
7	0,289	5,7	0,829	16,6
8	0,238	4,76	0,699	14
9	0,204	4,1	0,601	12
10	0,177	3,5	0,525	10,5
10,5	0,166	3,3	0,493	9,9
$P_{mi}^{\Delta} = 1,088$				

Об'єм камери згорання

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

де $V_s = [AB] = 190 \text{ мм}$ – приведений робочий об'єм

$$V_c = \frac{190}{10,5-1} = 20 \text{ мм}$$

Похибка середнього індикаторного тиску.

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

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

$$P_{mi_{cp}} = \frac{1,122 + 1,088}{2} = 1,105 \text{ МПа}$$

$$\Delta P_{mi} = \frac{|1,122 - 1,088|}{1,105} \times 100\% = 3,07\%$$

Похибка не перевищує 5%

					ПННІ НУК 142.41.25.02 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

Розрахунок дійсної індикаторної діаграми

Кут випередження.

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

Кут затримки згоряння

$$\Delta\phi_1 = 0^\circ$$

α'' – точка тиску газів в ВМТ в кінці такту стиску.

$$P_{c''} = 1,2 \times P_c = 1,2 \times 3,868 = 4,642 \text{ МПа}$$

$$P_{c''} = 92,8 \text{ мм}$$

Максимальний тиск газів.

$$P_{zd} = 0,85 \times P_{\max} = 0,85 \times 10,011 = 8,509 \text{ МПа}$$

$$P_{zd} = 170,1 \text{ мм}$$

Кут після ВМТ де тиск максимальний

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

Точка відкриття випускного клапану

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

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

Точка відкриття впускного клапану

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

Точка закриття випускного клапану

$$\alpha'' = 30^\circ$$

Точка закриття впускного клапану

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

Швидкість наростання тиску

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

$$\frac{\Delta P}{\Delta\phi_2} = \frac{10,011 - 4,42}{10} = 0,536 \text{ МПа/град}$$

					ПІННІ НУК 142.41.25.02 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

Таблиця 2.2 Визначення точок дійсної індикаторної діаграми

Позначки точки φ° пкв	Положення точки відносно ВМТ, φ° пкв	Постійна $X = (1 - \cos \varphi) + \frac{\lambda_L}{4} \times (1 - \cos 2\varphi)$	Відстань від ВМТ до $X \times \frac{[AB]}{2}$, мм
С', до ВМТ	20	0,075	7,1
f, до ВМТ	10	0,019	1,8
$\Delta\varphi_2$, після ВМТ	10	0,019	1,8
e' , після ВМТ	130	1,716	163
r' , до ВМТ	10	0,048	4,6
r'' , після ВМТ	30	0,165	15,7
d' , до ВМТ	150	1,897	180,2

Побудова розгорнутої індикаторної діаграми

Радіус кривошипа

$$R = \frac{S}{2} = \frac{340}{2} = 170 \text{ мм}$$

Знаходимо поправку Брікса

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

$$OO' = \frac{170 \times 0,250}{2} = 21,25$$

Розраховуємо масштаб

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

$$M_s = \frac{340}{220} = 1,55$$

Знаходимо поправку Брікса в масштабі переміщення

$$OO' = \frac{OO'}{M_s}, \text{ мм}$$

$$OO' = \frac{21,25}{1,55} = 13,7 \text{ мм}$$

2.4 Динамічний розрахунок двигуна

Маса деталей, що рухаються зворотно-поступально.

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

де $m_{пк} = 50$ – маса поршневого комплекту, кг

$m_{ш} = 66$ – маса шатуна, кг

$$m_s = 50 + \frac{1}{3} \times 66 = 72 \text{ кг}$$

Маса деталей, що рухаються обертально.

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

$$m_R = \frac{2}{3} \times 66 = 44 \text{ кг}$$

Кутова швидкість

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

$$\varpi = \frac{3,14 \times 500}{30} = 52,3 \text{ c}^{-1}$$

Сила тиску газу

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

Сила інерції мас, що рухаються зворотно-поступально

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

Дійсна сила

$$F_d = F_r \pm F_i, \text{ кН}$$

Нормальна сила

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

Радіальна сила

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

					ПННІ НУК 142.41.25.02 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

Дотична сила

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

Сила інерції обертаючихся мас

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

$$F_{\text{іоб}} = -44 \times 0,170 \times 52,3^2 = -20,5 \text{ кН}$$

Дані розрахунків заносимо до таблиці 2.3 та будуємо графіки.

					ПННІ НУК 142.41.25.02 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

Таблиця 2.3 Результати динамічного розрахунку

φ ПКВ	R _ц , мм	F _Г , кН	F _i , кН	F _d , кН	F _N , кН	F _r , кН	F _k , кН	F _Г ,мм	F _i ,мм	F _d ,мм	F _N ,мм	F _r ,мм	F _k ,мм	β
0	3,3	6,476	-60,34	-53,9	0	-53,86	0	4,4	-41,0	-36,6	0,0	-36,6	0,0	0,00
15	3,3	6,476	-57,08	-50,6	-3,28	-48,03	-16,27	4,4	-38,8	-34,4	-2,2	-32,6	-11,1	3,71
30	3,3	6,476	-47,84	-41,4	-5,21	-33,22	-25,19	4,4	-32,5	-28,1	-3,5	-22,6	-17,1	7,18
45	3,3	6,476	-34,13	-27,7	-4,97	-16,04	-23,07	4,4	-23,2	-18,8	-3,4	-10,9	-15,7	10,18
60	3,3	6,476	-18,1	-11,6	-2,58	-3,58	-11,36	4,4	-12,3	-7,9	-1,8	-2,4	-7,7	12,50
75	3,3	6,476	-2,043	4,434	1,103	0,0818	4,5682	4,4	-1,4	3,0	0,7	0,1	3,1	13,97
90	3,3	6,476	12,068	18,54	4,788	-4,788	18,544	4,4	8,2	12,6	3,3	-3,3	12,6	14,48
105	3,3	6,476	22,945	29,42	7,321	-14,69	26,524	4,4	15,6	20,0	5,0	-10,0	18,0	13,97
120	3,3	6,476	30,17	36,65	8,127	-25,36	27,673	4,4	20,5	24,9	5,5	-17,2	18,8	12,50
135	3,3	6,476	34,134	40,61	7,294	-33,87	23,558	4,4	23,2	27,6	5,0	-23,0	16,0	10,18
150	3,3	6,476	35,771	42,25	5,323	-39,25	16,514	4,4	24,3	28,7	3,6	-26,7	11,2	7,18
165	3,3	6,476	36,176	42,65	2,766	-41,92	8,3679	4,4	24,6	29,0	1,9	-28,5	5,7	3,71
180	3,3	6,476	36,204	42,68	1E-15	-42,68	5E-15	4,4	24,6	29,0	0,0	-29,0	0,0	0,00
195	3,3	6,476	36,176	42,65	-2,77	-41,92	-8,368	4,4	24,6	29,0	-1,9	-28,5	-5,7	-3,71
210	3,5	6,869	35,771	42,64	-5,37	-39,61	-16,67	4,7	24,3	29,0	-3,6	-26,9	-11,3	-7,18
225	3,8	7,458	34,134	41,59	-7,47	-34,69	-24,13	5,1	23,2	28,3	-5,1	-23,6	-16,4	-10,18
240	4,3	8,439	30,17	38,61	-8,56	-26,72	-29,16	5,7	20,5	26,2	-5,8	-18,2	-19,8	-12,50
255	5	9,813	22,945	32,76	-8,15	-16,35	-29,53	6,7	15,6	22,3	-5,5	-11,1	-20,1	-13,97

Продовження таблиці 2.3

φ ПКВ	R _ц , мм	F _Г , кН	F _і , кН	F _д , кН	F _N , кН	Fr, кН	F _k , кН	F _Г ,мм	F _і ,мм	F _д ,мм	F _N ,мм	Fr,мм	F _k ,мм	β
270	6,5	12,76	12,07	25	-6,41	-6,4	-24,82	8,67	8	16,9	-4,4	-4,4	-16,07	-14,48
285	8,6	16,88	-2,043	14,83	-3,69	0,2737	-15,28	11,5	-1,4	10,1	-2,5	0,2	-10,4	-13,97
300	12,5	24,53	-18,10	6,4	-1,4	2	-6,3	16,67	-12,3	4,4	-0,97	1,3	-4,27	-12,50
315	20,3	39,84	-34,13	5,705	-1,02	3,3094	-4,758	27,1	-23,2	3,9	-0,7	2,2	-3,2	-10,18
330	34,2	67,12	-47,84	19,28	-2,43	15,481	-11,74	45,6	-32,5	13,1	-1,7	10,5	-8,0	-7,18
345	53,8	105,6	-57,08	48,5	-3,14	46,037	-15,59	71,7	-38,8	33,0	-2,1	31,3	-10,6	-3,71
360	170	333,6	-60,34	273,3	-0	273,28	-7E-14	226,7	-41,0	185,7	0,0	185,7	0,0	0,00
375	168	329,7	-57,08	272,6	17,68	258,76	87,634	224,0	-38,8	185,2	12,0	175,8	59,5	3,71
390	94,3	185,1	-47,84	137,2	17,29	110,2	83,585	125,7	-32,5	93,2	11,7	74,9	56,8	7,18
405	54,6	107,2	-34,13	73,02	13,11	42,359	60,905	72,8	-23,2	49,6	8,9	28,8	41,4	10,18
420	35,1	68,88	-18,1	50,78	11,26	15,638	49,609	46,8	-12,3	34,5	7,7	10,6	33,7	12,50
435	24,4	47,89	-2,043	45,84	11,41	0,8459	47,233	32,5	-1,4	31,1	7,8	0,6	32,1	13,97
450	18,5	36,31	12,068	48,37	12,49	-12,49	48,374	24,7	8,2	32,9	8,5	-8,5	32,9	14,48
465	14,9	29,24	22,945	52,19	12,99	-26,05	47,047	19,9	15,6	35,5	8,8	-17,7	32,0	13,97
480	12,7	24,92	30,17	55,09	12,22	-38,13	41,604	16,9	20,5	37,4	8,3	-25,9	28,3	12,50
495	10,9	21,39	34,134	55,53	9,973	-46,31	32,21	14,5	23,2	37,7	6,8	-31,5	21,9	10,18
510	9,2	18,06	35,771	53,83	6,781	-50,01	21,04	12,3	24,3	36,6	4,6	-34,0	14,3	7,18
525	8,2	16,09	36,176	52,27	3,389	-51,37	10,255	10,9	24,6	35,5	2,3	-34,9	7,0	3,71

Продовження таблиці 2.3

φ ПКВ	R _ц , мм	F _Г , кН	F _i , кН	F _d , кН	F _N , кН	F _r , кН	F _k , кН	F _Г ,мм	F _i ,мм	F _d ,мм	F _N ,мм	F _r ,мм	F _k ,мм	β
540	6,6	12,95	36,204	49,16	0,00	-49,16	0,00	8,8	24,6	33,4	0,0	-33,4	0,0	0,00
555	4,4	8,635	36,176	44,81	-2,91	-44,04	-8,791	5,9	24,6	30,4	-2,0	-29,9	-6,0	-3,71
570	3,5	6,869	35,771	42,64	-5,37	-39,61	-16,7	4,7	24,3	29,0	-3,6	-26,9	-11,3	-7,18
585	3,3	6,476	34,134	40,61	-7,29	-33,87	-23,56	4,4	23,2	27,6	-5,0	-23,0	-16,0	-10,18
600	3,3	6,476	30,17	36,65	-8,13	-25,36	-27,67	4,4	20,5	24,9	-5,5	-17,2	-18,8	-12,50
615	3,3	6,476	22,945	29,42	-7,32	-14,69	-26,52	4,4	15,6	20,0	-5,0	-10,0	-18,0	-13,97
630	3,3	6,476	12,068	18,54	-4,79	-4,788	-18,54	4,4	8,2	12,6	-3,3	-3,3	-12,6	-14,48
645	3,3	6,476	-2,043	4,434	-1,1	0,0818	-4,568	4,4	-1,4	3,0	-0,7	0,1	-3,1	-13,97
660	3,3	6,476	-18,1	-11,6	2,578	-3,58	11,358	4,4	-12,3	-7,9	1,8	-2,4	7,7	-12,50
675	3,3	6,476	-34,13	-27,7	4,967	-16,04	23,069	4,4	-23,2	-18,8	3,4	-10,9	15,7	-10,18
690	3,3	6,476	-47,84	-41,4	5,211	-33,22	25,195	4,4	-32,5	-28,1	3,5	-22,6	17,1	-7,18
705	3,3	6,476	-57,08	-50,6	3,281	-48,03	16,266	4,4	-38,8	-34,4	2,2	-32,6	11,1	-3,71
720	3,3	6,476	-60,34	-53,9	7E-15	-53,86	3E-14	4,4	-41,0	-36,6	0,0	-36,6	0,0	0,00

2.5 Розрахунок теплового балансу газового двигуна.

Умова завдання:

ефективна потужність:	$P_e =$	403,1	кВт
частота обертання колінвалу:	$n =$	500	хв^{-1}
діаметр циліндру:	$d =$	250	мм
хід поршня:	$S =$	340	мм
число циліндрів:	$i =$	6	
коефіцієнт тактності:	$Z =$	4	
нижча теплота згорання газу:	$Q_H =$	4940	кДж/кг
годинна витрата газу:	$B_r =$	646	$\text{м}^3/\text{год}$
Індикаторний к.к.д.:	$h_i =$	0,524	
ефективний к.к.д.:	$h_e =$	0,451	
кількість свіжого заряду	$M_1 =$	2,6	кмоль/кг
загальна кількість продуктів згорання	$M_r =$	2,8	кмоль/кг
температура випускних газів	$T_{\text{ср.г.}} =$	857,0	К
температура на початку стиску	$T_d =$	376,5	К

мольна теплоємність продуктів згорання

при постійному об'ємі: $mC_v = 22,952$ кДж/кмольК

мольна теплоємність свіжого заряду

при постійному об'ємі: $mC_v = 27,325$ кДж/кмольК

середній індикаторний тиск: $P_{mi} = 1121,5$ кПа

Рівняння теплового балансу.

Загальна кількість теплоти, введеної в двигун з паливом

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

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:

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

$$Q_{\Pi} = 886420,768 \text{ Дж/с}$$

у відсотковому відношенні q_{Π} приймаємо за 100%

Теплота, еквівалентна ефективній роботі двигуна:

$$Q_e = 1000 \cdot P_e$$

3 РОЗРОБКА СИСТЕМИ ГАЗОПОСТАЧАННЯ

3.1 Опис системи газопостачання

Розвиток децентралізованої енергетики на основі біомаси

Ідея створення децентралізованої енергетичної системи на основі місцевих відновлюваних джерел енергії давно відома. В Україні існують багатовікові традиції використання біомасових відходів як джерела енергії. Біомаса є екологічно чистим, місцевим і відновлюваним паливом, яке вважається одним з найдавніших енергетичних ресурсів людства.

Попри це, ефективне використання біомаси шляхом спалювання і далі залишається викликом у всьому світі. Основні проблеми обумовлені її фізико-хімічними характеристиками: значна вологість (до 85%), низька теплота згоряння, невисока енергетична щільність і неоднорідність фракційного складу.

Через ці особливості системи прямого спалювання біомаси демонструють низький коефіцієнт корисної дії (ККД), що обмежує їхній потенціал у створенні ефективної та сталої енергетики.

На рисунку 3.1 (не представлений тут) показано порівняльну ефективність різних способів виробництва електроенергії, що ілюструє нинішній стан теплової енергетики. Серед технологій переробки органічних відходів особливо перспективною є газифікація біомаси. Вона дозволяє отримувати дешеві енергоносії, забезпечує економічно доцільне застосування в різних секторах і сприяє розвитку енергетичної самодостатності громад.

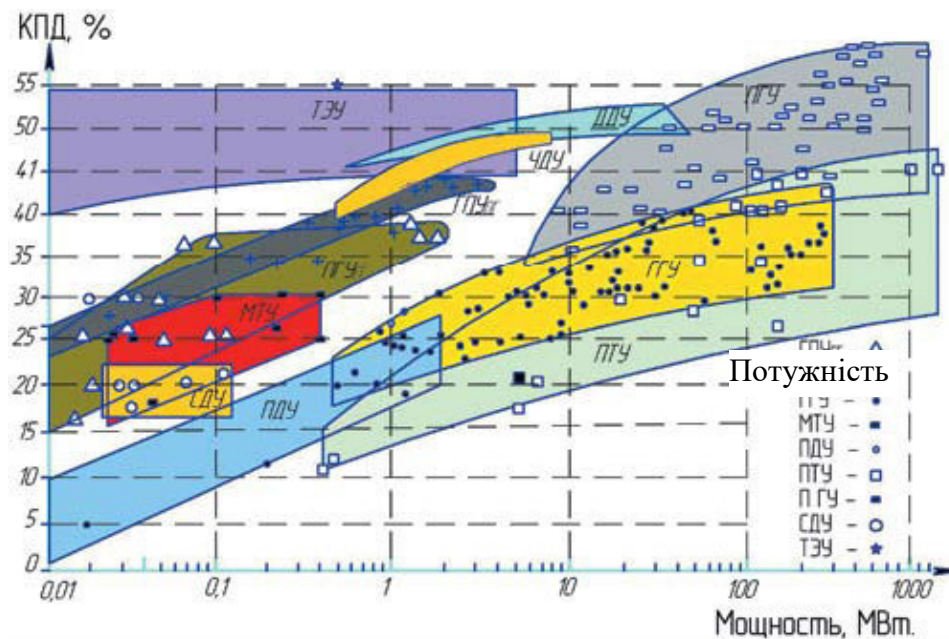
У 1960-х роках розвиток технологій газифікації твердого палива майже зупинився. Це було пов'язано з широким переходом на нафту й природний газ як більш зручні енергоносії, а також з переорієнтацією на централізовану енергетику та будівництвом міжрегіональних і міжнародних електромереж, що дали змогу транспортувати електроенергію на великі відстані.

Як наслідок, інтерес до газифікації знизився як у сфері виробництва електроенергії, так і в теплопостачанні. Проте в умовах енергетичних і нафтових

					ПІННІ НУК 142.41.25.02 ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

криз у країнах з ринковою економікою, де ціни мають вирішальне значення, інтерес до газифікації біомаси періодично зростає.

У сучасному контексті, коли на перший план виходять питання енергетичної незалежності, екологічної безпеки, ефективного використання місцевих ресурсів і децентралізації, технології газифікації знову розглядаються як стратегічно важливий напрям розвитку енергетики.



енергетики.

Рис. 3.1 Графік порівнювальної ефективності різних технологій виробництва електричної енергії

ГПУГт – міні-ТЕС – ДВЗ на газі; ПТУПг – міні-ТЕС – ДВЗ на природному газі (ПГ); ГТУ – установки; ПДУ – установки з паровими двигунами; ПТУ – паротурбінні установки на ПГ; ПТУ – елемент; ЧДУ – чотирьохтактні дизельні установки.

До кінця 1980-х років майже половина всього обсягу генераторного газу у світі вироблялася для потреб, пов'язаних із газифікацією. Згодом цей показник почав знижуватися через зростання попиту на генерацію теплової та електричної енергії з використанням самого газу.

У період з 1978 по 2003 рік у світі було збудовано 72 підприємства, що займаються газифікацією вугілля, серед яких великі електростанції з потужністю від 250 до 950 МВт. Із цієї кількості 26 розташовано в Азії (з них 14 — у Китаї), ще по 23 — у США та Європі.

Загальновизнано, що близько 95% усіх каустобіолітів (викопного палива) припадає на тверді види палива, тоді як частка нафти й газу становить приблизно

5%. При цьому тенденція свідчить про поступове зменшення ролі рідких і газоподібних енергоносіїв.

Оцінки свідчать, що запасів твердих викопних ресурсів, таких як вугілля, горючі сланці, торф і сапропеліти, достатньо для забезпечення потреб людства щонайменше на тисячу років. Що ж до поновлюваних джерел енергії — зокрема фітомаси (в тому числі спеціально вирощеної), вуглецевмісних відходів тощо — їх потенціал вважається практично невичерпним у межах існування цивілізації.

Запаси ж нафти й природного газу, за різними оцінками, можуть бути вичерпані протягом найближчих 40–70 років, якщо враховувати лише ті, що вже розвідані та легко видобуваються за допомогою сучасних технологій.

Світове споживання нафти, за прогнозами, почне знижуватися після 2020 року. Це пов'язано не тільки з вичерпанням запасів, а й із глобальним переходом до альтернативних джерел енергії.

Отже, можна з упевненістю сказати, що в середньостроковій перспективі, після завершення нафтогазової епохи (яка розпочалася на межі XIX і XX століть і, ймовірно, добігатиме кінця в XXI столітті), технології газифікації твердого палива знову відіграватимуть ключову роль у розвитку сучасної енергетики.

У період між 1850 і 1950 роками в усьому світі проводилась інтенсивна дослідницька робота, спрямована на комерційне впровадження технологій газифікації твердого палива для потреб транспорту, а також виробництва теплової та електричної енергії. Загальна кількість наукових праць, патентів і публікацій за цей період перевищила 10 000, не враховуючи напрацювань, створених у межах СРСР.

Ба більше, й сьогодні існують галузі, де застосування технологій газифікації твердого палива не лише екологічно виправдане, а й економічно обґрунтоване. Однією з перспективних сфер застосування технологій газифікації є переробка відходів різного походження в рамках концепції «індустріального метаболізму». Згідно з даними, на кожного жителя планети щорічно вилучається близько 50 тонн сировини, з якої лише 2 тонни використовуються для отримання

					ПІННІ НУК 142.41.25.02 ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

корисної продукції, а решта 48 тонн стають відходами. Використання газифікаційних технологій допомагає ефективно утилізувати ці відходи та перетворювати їх на корисні енергоносії.

Однією з важливих сфер застосування газогенераторних технологій є сільське господарство, де можливий перехід на паливо, виготовлене з аграрних відходів. Це дозволяє зменшити залежність цін на сільськогосподарську продукцію від коливань вартості нафти та природного газу. Як приклад, у Швеції вже реалізується державна програма, присвячена цьому напрямку.

Ще одним актуальним завданням є утилізація дерев'яних залізничних шпал, які виводяться з експлуатації. У цьому контексті газифікація також виступає як ефективне та екологічно обґрунтоване рішення.

Для країн, що не мають значних енергетичних ресурсів — як розвинених, так і тих, що розвиваються, — газифікація твердого палива є не лише економічно доцільною, а й екологічно виправданою стратегією. Її значущість із часом лише зростатиме. Ця технологія дозволяє трансформувати відходи у вид палива, за характеристиками подібного до природного газу чи продуктів нафтопереробки.

Лідерами у сфері газифікації біомаси для децентралізованого енергопостачання є такі країни, як Індія, Китай та Бразилія. Зокрема в Індії реалізацію цього напрямку підтримує державна програма під егідою Міністерства нетрадиційних джерел енергії. Станом на середину 2003 року в країні вже діяло близько 2000 малопотужних газогенераторних установок (у діапазоні від 5 до 500 кВт), які використовують рослинну біомасу.

Серед інших країн, що розвиваються та активно впроваджують газифікаційні технології, варто згадати Філіппіни, Таїланд, Бангладеш, Малайзію, Індонезію, Кубу, Малі, Кенію, Бурунді та Мадагаскар. У більшості з них розвиток цього напрямку також підтримується на державному рівні.

Залежно від способу подачі тепла в процесі отримання газу з біопалива виділяють автотермічні та аллотермічні методи газифікації. На основі багаторічних досліджень шведський учений Таннер запропонував спеціальну

					ПІННІ НУК 142.41.25.02 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

трикутну діаграму (див. рис. 3.2), яка визначає межі автогенного процесу — тобто горіння органічної речовини без додаткового підведення тепла.

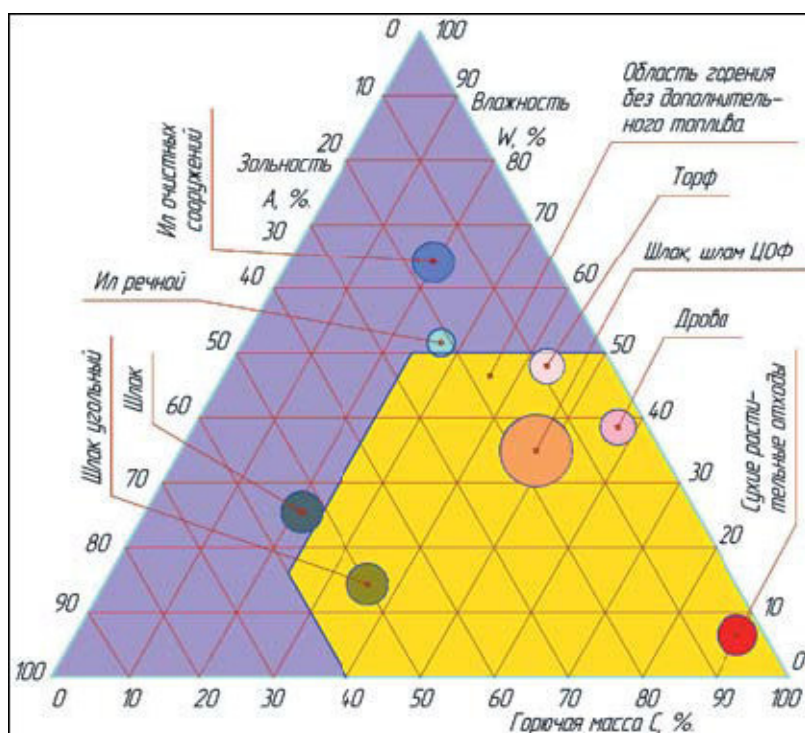


Рис 3.2 Трикутник Таннера

Згідно з дослідженнями Таннера, нижня межа теплоти згоряння для високозольної та вологомісткої органічної сировини, за якої можливе автогенне (тобто таке, що самопідтримується) горіння без залучення додаткового палива, відповідає наступним умовам: вологість (W) менше 50%, зольність (A) — менше 60%, вміст вуглецю (C) — менше 25%. Цей критерій дозволяє зробити висновок, що більшість органічних відходів, особливо деревинної та сільськогосподарської природи, доцільно розглядати як перспективну сировину для виробництва енергоносіїв.

Однією з ключових проблем вітчизняної промислової та комунальної енергетики є не лише дефіцит фінансових ресурсів для закупівлі дорогого палива, а й застарілий парк обладнання — як фізично, так і морально.

Серед наявних технологічних рішень термохімічного перетворення деревини в Україні поширення здобули дві основні схеми:

Часткова газифікація в топках-генераторах системи ЦКТІ за розробкою В.У. Померанцева;

Повна газифікація у спеціалізованих газогенераторних установках.

Перша схема використовувалась переважно на великих лісопромислових підприємствах, які мали власну енергетичну інфраструктуру — електростанції потужністю близько 1500 кВт або великі котельні. Її головною перевагою був високий енергетичний потенціал і можливість забезпечення побутового газопостачання для населення.

Друга схема виявилася ефективною для менших підприємств, що спеціалізувались на виробництві хімічної продукції. У цьому випадку генераторний газ після очищення міг бути використаний як паливо для котлів або двигунів внутрішнього згоряння.

Вибір між цими технологіями залежав від наявності централізованого електропостачання та енергетичних потреб конкретного підприємства.

На сьогоднішній день на формування ринку обладнання для термохімічної конверсії біомаси впливають два головні чинники: зростання цін на традиційні викопні енергоносії; активний розвиток ринку біопалива, який стимулює попит на газогенераторні системи.

У зв'язку з цим в Україні сформувався стійкий інтерес до обладнання, що працює за другою — повною — схемою газифікації деревини.

Виробництво енергії з біомасових відходів є економічно конкурентоспроможним навіть за умови імпорту відповідного обладнання. У випадках, коли сировина є безкоштовною (наприклад, деревні відходи або надлишки соломи), виробництво генераторного газу може бути значно вигіднішим у порівнянні з використанням традиційних, дорожчих енергоносіїв.

У рамках даного дипломного проєкту пропонується використання генераторного газу замість природного газу для живлення двигуна 6ГЧН 25/34. Генераторні гази утворюються під час без залишкової газифікації твердого палива. Газифікація твердого палива являє собою хімічний процес, при якому горюча частина палива перетворюється в умовах високих температур в

					ПІННІ НУК 142.41.25.02 ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

присутності вільного або зв'язаного кисню на горючі газу. Установки, в яких здійснюються газифікація твердого палива, називаються газогенераторами.

В якості палива для газогенератора застосовується деревна тріска, тирса, стружки. Також можна використати відходи гідролісної переробки деревини - лігнін, сформованні в паливні брикети. Істотну роль грає тільки вологість, можливе застосування палива з вологістю до 45...50%. Найбільш ефективна робота на паливі з вологістю до 35%.

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

Система газообміну

Система газообміну 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.

					ПІННІ НУК 142.41.25.02 ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Комплект газової апаратури

У комплект газової апаратури входить: кульовий кран, регулятор тиску газу, система регулювання співвідношення газ-повітря, запірний електромагнітний клапан, манометр, а також комплект патрубків з фланцями.

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

Змішувач

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

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

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

Газоповітряні змішувачі забезпечують якісне утворення суміші завдяки високим швидкостям повітря і газу і мають малий гідравлічний опір. Швидкість газу і повітря в системах живлення газових двигунів звичайно вибирають в межах 30...100м/с, швидкість газоповітряної суміші на 20...25% менше швидкості повітря. Умови експлуатації газових двигунів такі, що вони працюють практично при постійному навантаженні. Тому основним завданням змішувальної камери є забезпечення оптимального коефіцієнту надлишку повітря на характерному

					ПІННІ НУК 142.41.25.02 ПЗ	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

експлуатаційному режимі двигуна – $0,8...0,9 N_{\text{ном}}$, що позитивно вплине на параметри робочого циклу двигуна і найбільше на температуру випускних газів.

Камера змішувача газового двигуна 6ГЧН 25/34 призначена для змішування потоку повітря, що поступає через фільтр-глушник на всмоктування в компресор турбокомпресора з газом, що поступає з газового трубопроводу в камеру.

Колектор впускний

Впускний колектор є окремим для кожного ряду циліндрів виконаний з труби з привареними патрубками і фланцями, один з котрих закритий з торця заглушкою, а до другого через регульовану заслінку і перехідник приєднаний охолоджувач газоповітряної суміші. У заглушці з боку щита приладів є бобишка для під'єднання трубки манометра, а у верхній частині приварені кронштейни для кріплення елементів системи запалення.

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.

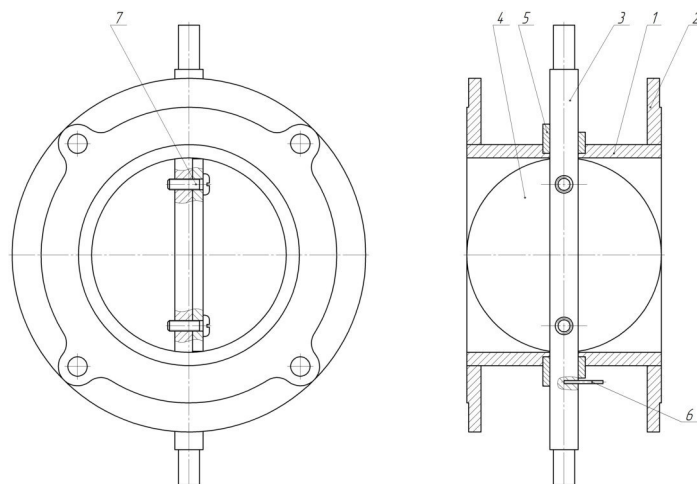


Рисунок 3.3 Заслінка

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

					ПІННІ НУК 142.41.25.02 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

3.2 Описання газогенераторної установки.

Газогенератор – апарат для отримання газу представляє собою металічний циліндр 5, вимощений в середині цегловою футеровкою 4. Від нижньої основи газогенератора і кілька вище верхніх фурм (отворів для підвода повітря в газогенератор) футеровка виконується з вогнеупорної цегли. Інша частина футеровки викладена з звичайного будівельної цеглин, показаного на рис. 3.4.

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

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

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

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

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

Газогенератор має чотири ряди фурм. Верхні два ряди фурм 11, числом чотири в кожному ряду, служать для підготовки палива і для додаткової подачі повітря при застосуванні палива підвищеної вологості - більше 20-25%. Нижні два

					ПІННІ НУК 142.41.25.02 ПЗ	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ряди фурм 12 числом по вісім в кожному ряду є робочими фурмами, що подають основне повітря для газифікації палива.

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

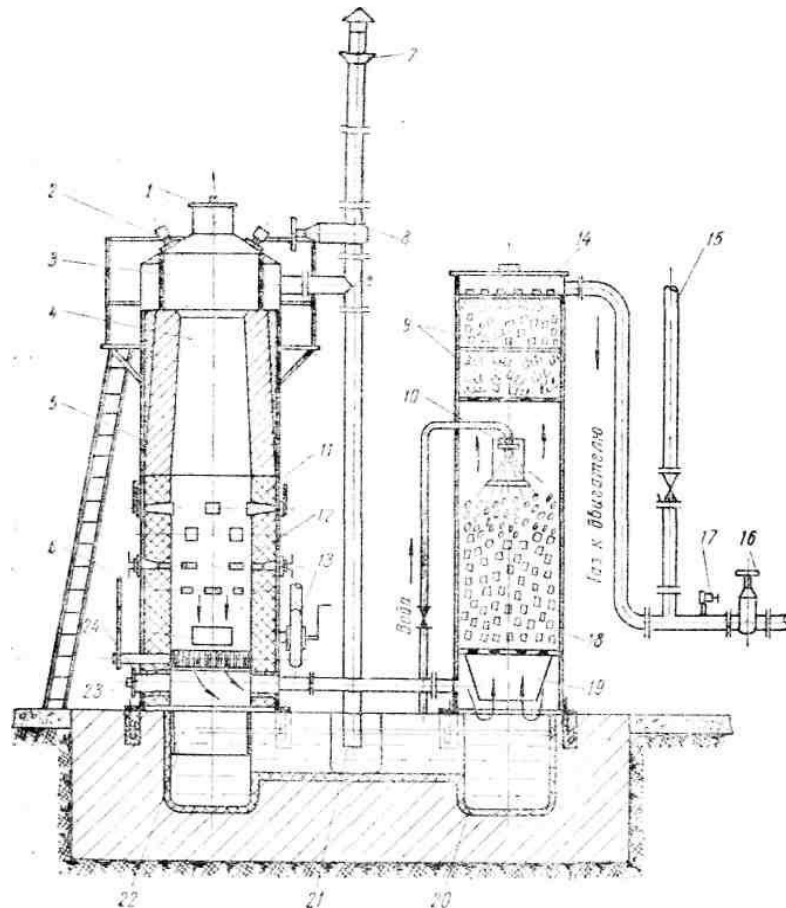


Рис. 3.4 Схема газогенераторної установки.

1-паливо-завантажувальний пристрій, 2-конічні пробки, 3- металічний циліндр з отовами, 4-цеглова футеровка, 5- газогенератор, 6- ричажний механізм, 7- димова труба, 8-запорна засувка, 9- стружка деревісна, 10-зрошуючий пристрій, 11,12- фурми, 13-ручний вентилятор;

14- кришка, 15-продувочна труба, 16-запорна засувка,17-контрольний кран, 18-комбінований очисник, 19-відбійний конус, 20-прямок, 21-стояк, 22-сталеве кільце, 23-колосникова решітка, 24-вентиль запорний.

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

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

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

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

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

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

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

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

На газопроводі між комбінованим очищувачем і двигуном влаштована продувальна труба 15 для продувки установки вентилятором і контрольний краник 17 для проби якості газу за його горючості і забарвленню. Перед двигуном на цьому газопроводі поставлена запірна засувка 16.

Вся газогенераторна установка змонтована на фундаменті, в якому влаштовані прямки 20, заповнені водою, яка поступає з комбінованого очисника. Прямки призначені для збору з них золи, вугільної дрібниці, смол і сажі, що

					ПІННІ НУК 142.41.25.02 ПЗ	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вилучається з газогенератора та комбінованого очисника. Крім того, прямки з водою служать в якості гідравлічного затвору, що ущільнює установку проти шкідливого підсосу повітря. Гідравлічний затвор під установкою відіграє також роль запобіжного клапана, і в разі вибуху газу в установці вибухова хвиля викидає воду з прямків, оберігаючи установку від руйнування.

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

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

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

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

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

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

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

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

					ПІННІ НУК 142.41.25.02 ПЗ	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

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

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

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

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

Однак при більш вологому паливі процес горіння та газифікації порушується. Це відбувається тому, що паливо в зоні підготовки не підсушується належним чином і, вступаючи в зону горіння погано підсушеним і з підвищеною кількістю виділилися водяної пари, горить мляво, не утворюючи добре розпеченого вугілля, необхідного для газоутворення. Для отримання якісного і без смолистого газу з вологого палива процес газифікації ведеться наступним чином.

Димову трубу, що з'єднує газогенератор з атмосферою при роботі газогенератора на двигун, не закривають, як роблять при застосуванні сухого палива після закінчення розпалювання газогенератора. Завдяки цьому в газогенераторі створюється зворотна тяга, спрямована вгору в димову трубу, куди

					ПІННІ НУК 142.41.25.02 ПЗ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

і видаляються пари води, що виділяються з палива. Одночасно з водяними парами в димову трубу відводиться і деяка кількість газів сублімації і продуктів згоряння палива, які проходячи гарячими через паливо, що знаходиться в зоні підготовки, підсушують його. Таке ведення процесу газифікації деревного палива підвищеної вологості менш економне, ніж нормальне, коли застосовується сухе паливо, тому що при цьому частина палива витрачається на підсушку палива і втрачається в димарі. Проте цей спосіб дає можливість використовувати в газогенераторі паливо дуже високої вологості до 45% (відносної), чим цілком оправдує себе, тому що зниження к. п. д. установки не перевищує 1-2%.

3.3 Розрахунки елементів паливної системи двигуна

Розрахунок змішувальної камери газового двигуна 6ГЧН 25/34, що працює на генераторному газі.

Вихідні дані

Витрата повітря через змішувальну камеру	$V_{\text{п}} = 8571,4 \text{ м}^3/\text{год}$
Витрата газу в змішувальну камеру	$V_{\text{г}} = 750,3 \text{ м}^3/\text{год}$
Тиск газу на вході в змішувальну камеру	$p_{\text{г}} = 101500 \text{ Па}$
Тиск навколишнього середовища	$p_0 = 101300 \text{ Па}$
Показник адіабати для газу	$\kappa = 1,3$
Газова постійна для повітря	$R_{\text{п}} = 283 \text{ кДж/кг} \cdot \text{град}$
Газова постійна для газу	$R_{\text{г}} = 519 \text{ кДж/кг} \cdot \text{град}$
Температура навколишнього середовища	$T_0 = 293 \text{ К}$
Швидкість повітря в змішувальній камері	$v_{\text{п}} = 75 \text{ м/с}$

Діаметр змішувальної камери

$$d = \sqrt{\frac{f \times 4}{\pi}}, \text{ м}$$

де f – площа прохідного перерізу змішувальної камери

					ПІННІ НУК 142.41.25.02 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

$$f = \frac{V_f}{v_i}, \text{і}^2$$

$$f = \frac{8571,4}{75} = 0,0314 \text{ і}^2$$

$$d = \sqrt{\frac{0,0314 \times 4}{3,14}} = 0,2 \text{ і}$$

Густина повітря

$$\rho_{\text{п}} = \frac{P_0}{R_{\text{п}} \times T_0}, \text{кг/м}^3$$

$$\rho_{\text{п}} = \frac{101300}{283 \times 293} = 1,222 \text{ кг/м}^3$$

Розрідження в змішувальній камері

$$\Delta P = \frac{\rho_n \times v_n^2}{2}, \text{Н/м}^2$$

$$\Delta P = \frac{1,222 \times 75^2}{2} = 3512 \text{ Н/м}^2$$

$$\Delta P = 358 \text{ мм.вод.ст.}$$

Тиск в змішувальній камері

$$P_{\text{зк}} = P_0 - \Delta P, \text{Н/м}^2$$

$$P_{\text{зк}} = 101300 - 3512 = 97788 \text{ Н/м}^2$$

Густина паливного газу

$$\rho_{\text{г}} = \frac{p_{\text{г}}}{R_{\text{г}} \times T_0}, \text{кг/м}^3$$

$$\rho_{\text{г}} = \frac{101500}{519 \times 293} = 0,667 \text{ кг/м}^3$$

Масова витрата газового палива в змішувальну камеру

$$G_{\text{г}} = V_{\text{г}} \times \rho_{\text{г}}, \text{кг/год}$$

$$G_{\text{г}} = 750,3 \times 0,667 = 500,8 \text{ кг/год}$$

Необхідна площа отворів в змішувальній камері

					ПІННІ НУК 142.41.25.02 ПЗ	Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$f_0 = \frac{G_{\Gamma}}{3600 \times \varphi \times \sqrt{2 \frac{\kappa}{\kappa-1} \times P_{\Gamma} \times \rho_{\Gamma} \times \left[\left(\frac{P_{\text{зк}}}{P_{\Gamma}} \right)^{\frac{2}{\kappa}} - \left(\frac{P_{\text{зк}}}{P_{\Gamma}} \right)^{\frac{\kappa+1}{\kappa}} \right]}}, \text{м}^2$$

де $\varphi = 0,75$ – коефіцієнт витрати отворів змішувальної камери

$$f_0 = \frac{500,8}{3600 \times \varphi \times \sqrt{2 \frac{\kappa}{\kappa-1} \times 101500 \times 0,667 \times \left[\left(\frac{97788}{101500} \right)^{\frac{2}{1,3}} - \left(\frac{97788}{101500} \right)^{\frac{1,3+1}{1,3}} \right]}} = 0,00269 \text{ м}^2$$

Розрахунок впускного колектора

Так, як витрата генераторного газу велика, відповідно впускний колектор має більший діаметр ніж у двигуна, який працює на природному газі, а швидкість газоповітряної суміші становить $V=75$ м/с

Діаметр впускного колектора

$$d = \sqrt{\frac{4 \times V_{\text{гпс}} \times \rho_{\Gamma}}{\pi \times V \times 3600 \times \rho_1}}, \text{м}$$

де $V_{\text{гпс}}$ – об'ємна витрата газоповітряної суміші (ГПС) на виході з змішувача

$$V_{\text{гпс}} = V_{\text{п}} + V_{\text{г}}, \text{м}^3 / \text{год}$$

$$V_{\text{гпс}} = 8571,4 + 750,3 = 9321,7 \text{ м}^3 / \text{год}$$

$$\rho_1 = \frac{P_d}{R_{\Gamma} \times T_d}, \text{кг/м}^3$$

$$\rho_1 = \frac{138000}{519 \times 370,9} = 0,717 \text{ кг/м}^3$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \times 9321,7 \times 0,667}{3,14 \times 75 \times 3600 \times 0,717}} = 0,202 \text{ м} = 202 \text{ мм}$$

					ПІННІ НУК 142.41.25.02 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

4.1 Заходи з охорони праці

Основною метою охорони праці є мінімізація ризиків травматизму та професійних захворювань працівників при забезпеченні комфортних умов праці та високої продуктивності. У реальних умовах виробництва праця часто супроводжується впливом ряду небезпечних та шкідливих виробничих факторів.

Небезпечним виробничим фактором вважається такий фактор, який при визначених умовах здатен спричинити травму, професійне захворювання або призвести до зниження працездатності працівника. Варто зазначити, що межа між шкідливими та небезпечними факторами є умовною, оскільки один і той самий чинник може спричинити як нещасний випадок, так і поступове погіршення стану здоров'я або продуктивності.

При експлуатації двигунів внутрішнього згоряння та супутніх механізмів виникає низка потенційно небезпечних для людини виробничих чинників. Основні вимоги до безпеки праці в таких умовах регламентуються державним стандартом ДСТ 12.0.003-83.

Токсичні речовини

Одним із важливих аспектів є вплив парів пального та мастильних матеріалів. Їх випаровування може проникати в організм працівника через дихальні шляхи, спричиняючи подразнення та розвиток хронічних захворювань органів дихання. У виробничих приміщеннях необхідно контролювати рівень концентрації шкідливих парів у повітрі відповідно до гігієнічних нормативів.

Крім того, в процесі роботи двигуна в атмосферу викидаються продукти згоряння палива, зокрема оксид вуглецю (CO), що є особливо небезпечним. Згідно зі СНиП 2.04.05-91, допустима концентрація оксиду вуглецю у повітрі робочої зони не повинна

Теплове випромінювання. Небезпеку також становлять високотемпературні елементи двигуна — випускний колектор, газова турбіна, глушник тощо. Контакт

					ПІННІ НУК 142.41.25.02 ПЗ	Арк.
						74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

з ними може призвести до серйозних термічних опіків. Для запобігання таким випадкам рекомендується використовувати ефективні теплоізоляційні матеріали для покриття гарячих поверхонь обладнання.

Пожежна безпека

Основними причинами виникнення пожеж у приміщеннях, де експлуатується паливне та електромеханічне обладнання, є: несправність електричних приладів, самозаймання промасленого дрантя, знос або корозія елементів паливної системи, несправність запірної арматури, недотримання вимог пожежної безпеки під час роботи з легкозаймистими речовинами, використання відкритого вогню в заборонених умовах.

Для забезпечення пожежної безпеки необхідно впроваджувати комплексні заходи: регулярне технічне обслуговування обладнання, наявність засобів первинного пожежогасіння, обмеження використання відкритого вогню та дотримання правил зберігання горючих матеріалів. Електробезпечність

Проходячи через тіло, струм впливає:

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

Освітлення

Велику роль у виробничому процесі грає система освітлення. Система призначена для забезпечення освітлення приміщення електростанції.

Освітлювальне електроустаткування контейнера складається з наступних елементів:

- щит освітлення з автоматичними вимикачами. Він споживає напругу 380 В з частотою 50 Гц;
- світильники з лампами накаливання потужністю 100Вт;
- світильники з двома люмінесцентними лампами потужністю по 40 Вт;

					ПІННІ НУК 142.41.25.02 ПЗ	Арк.
						75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- світильники аварійного освітлення;
- пробки освітлення;
- вимикачі.

Вентиляція

У результаті порушення герметичності з'єднань деталей двигуна в приміщенні електростанції може з'являтися небезпечна концентрація палива, що може привести до отруєння персоналу або вибуху. Щоб запобігти цьому, необхідна система вентиляції.

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

Система вентиляції розроблена відповідно до вимог і норм СНІП.

Вентиляція, що застосовується: штучна, приточна і природна.

Проточна вентиляція електростанції забезпечується вентилятором.

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

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

Міри безпеки

До обслуговування і експлуатації дизель-генераторів допускаються особи:

- які мають необхідні навички, і технікум по обслуговуванню і експлуатації дизель-генераторів;
- що пройшли курс навчання по експлуатації паливної апаратури і мають посвідчення;
- що пройшли інструктаж по техніці безпеки, охорони праці і пожежної безпеки.

					ПІННІ НУК 142.41.25.02 ПЗ	Арк.
						76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.2 Охорона навколишнього середовища

При згорянні палива у двигунах внутрішнього згорання утворюється ряд токсичних сполук, які мають негативний вплив як на людину, так і на навколишнє середовище. Їх умовно поділяють на три основні групи: продукти повного та неповного згорання палива: діоксид вуглецю (CO_2) продукт повного згорання; Оксид вуглецю (CO), неспалені вуглеводні (C_nH_m), включно з поліциклічними ароматичними сполуками; Сажа та інші тверді частинки. Ці речовини утворюються переважно в умовах нестачі кисню або нерівномірного перемішування палива з повітрям. Оксиди азоту (NO_x): Їх утворення пов'язане переважно з високотемпературними реакціями між азотом і киснем повітря, а не безпосередньо з паливом. Утворення NO_x відбувається за так званим термічним механізмом, коли температура у зоні горіння перевищує $1300\text{--}1500\text{ }^\circ\text{C}$. Сполуки сірки, свинцю, важких металів: Вони утворюються в результаті згорання палива, що містить сірку, сполуки свинцю, а також зольні домішки, які включають різні важкі метали. Їхній вплив особливо відчутний при використанні низькоякісних палив.

Токсичний вплив основних речовин

Оксид вуглецю (CO)

Основна небезпека CO полягає в тому, що він вступає у з'єднання з гемоглобіном крові, утворюючи карбоксигемоглобін (COHb). Це з'єднання значно стійкіше за оксигемоглобін і у 240 разів активніше зв'язується з гемоглобіном, ніж кисень. Як наслідок, порушується транспортна функція крові, знижується постачання кисню до тканин і органів. Вплив CO на організм залежить від концентрації та тривалості експозиції: При вмісті CO в повітрі $0,01\%$ і тривалості впливу понад 1 годину виникають головний біль, зниження реакції та працездатності; Вищі концентрації можуть призвести до втрати свідомості або смерті; Хронічний вплив спричиняє захворювання серцево-судинної системи, атеросклероз, ураження ЦНС, розвиток легеневих патологій, особливо у осіб з коронарною недостатністю.

					ПІННІ НУК 142.41.25.02 ПЗ	Арк.
						77
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Навіть при концентрації CO 0,001–0,0015% (10–15 ppm) протягом 8 годин спостерігається погіршення здатності до орієнтації в часі. Припинення вдихання CO спричиняє зменшення концентрації COHb удвічі кожні 3–4 години. Щодо впливу на рослинний світ, то при концентрації CO до 0,01% значних змін не спостерігається навіть за тривалого впливу, хоча в деяких випадках фіксувалося погіршення утворення пилку.

Вуглеводні

Серед великої кількості вуглеводнів найбільш токсичними є ароматичні сполуки олефінового ряду, що мають високу хімічну активність. Вони є основними попередниками фотохімічного смогу в умовах міського середовища.

Вплив вуглеводнів на людину: діють на центральну нервову систему, спричиняючи головний біль, запаморочення, в окремих випадках — стан наркотичного сп'яніння; Викликають серцево-судинні захворювання, аритмії, розлади роботи ШКТ, зміни складу крові; мають потенціал канцерогенності та мутагенної дії.

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

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

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

Формальдегід (мурашковий альдегід) – газ без кольору із задушливим, подразнюючим запахом. Охолоджуючись, перетворюється в рідину за

					ПІННІ НУК 142.41.25.02 ПЗ	Арк.
						78
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

температури мінус 21°C. Легко розчиняється у воді. Розчин, який містить 40 % формальдегіду, називається формаліном. Газ шкідливо впливає на органи дихання і слизові оболонки, є дуже сильним подразником, вражає діяльність центральної нервової системи, печінки, нирок. За концентрації формальдегіду у атмосфері 0,007 % має місце легке подразнення дихальних шляхів та слизових оболонок очей і носа, за концентрації 0,18 % - подразнення сильне. Запах сприймається людиною за концентрації 0,000015 %, і це має бути сигналом, що перебування в такій атмосфері небезпечне.

Акролеїн – рідина без кольору із запахом підгорілих жирів. Температура кипіння 52,4°C. Пара акролеїну спричиняє сильне подразнення слизових оболонок очей. Вміст його в атмосфері 0,002 % згубний, 0,0005 % - важко переносимий, 0,00008 % - для людини безпечний. Запах сприймається людиною за концентрації 0,00016 %. Концентрація його в повітрі 0,014 % може призвести до смерті через 10 хвилин. Вплив акролеїну на організм людини адекватний впливу формальдегіду.

Відпрацьовані гази ДВЗ є основним джерелом викиду в атмосферу твердих частинок і в першу чергу сажі (кіптяви). Частинки сажі розміром 0,5-2 мкм затримуються в легенях, викликаючи алергію.

Основна небезпека сажі полягає у тому, що на своїй поверхні вона адсорбує велику кількість вуглеводневих сполук, зокрема поліциклічних ароматичних вуглеводнів, і серед них найбільш активний і небезпечний – бенз(а)пірен. Саме за допомогою сажі ці сполуки надходять в організм людини через дихальні шляхи.

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

Оксиди азоту NO і NO₂ отруйні для організму людини, мають сильну подразнюючу дію, особливо на слизові оболонки, зокрема очей. Здатні глибоко проникати в легені, викликаючи пошкодження їх тканин. За високої концентрації можливі виникнення хронічних респіраторних захворювань і навіть смертельні випадки.

					ПІННІ НУК 142.41.25.02 ПЗ	Арк.
						79
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Двооксид азоту в концентрації 4-6 мг/м викликає порушення життєдіяльності рослин, пригнічуючи їх зростання. Тривалий вплив NO_2 призводить до хлорозу рослин (передчасного старіння).

Двооксид азоту є вихідним продуктом утворення озону під впливом ультрафіолетового випромінювання. А надмірне накопичення озону у приземному просторі дуже шкідливе. Крім того, NO_2 має вирішальну роль в утворенні фотооксидантів. Розчин NO_2 у воді є складовою "кислотних дощів".

Сірчистий газ SO_2 – основний токсичний продукт сполук сірки, що надходить у атмосферу з відпрацьованими газами. У вільному стані SO – це газ без кольору з різким запахом, кислий на смак, отруйний, подразнює слизові оболонки очей і дихальних шляхів. Легко розчиняється у воді, утворюючи сірчисту кислоту H_2SO_3

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

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

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

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

4.3 Заходи зниження токсичності та димності відпрацьованих газів.

З метою зменшення негативного впливу викидів відпрацьованих газів на навколишнє середовище та здоров'я людини, розробку та впровадження ефективних заходів з обмеження токсичності доцільно здійснювати за такими основними напрямками: оптимізація робочого процесу та конструктивне

					ПІННІ НУК 142.41.25.02 ПЗ	Арк.
						80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вдосконалення двигунів. Досягнення мінімізації шкідливих викидів можливе шляхом:

- оптимізації процесів сумішоутворення та згоряння;
- удосконалення системи подачі палива: вибір раціонального закону паливоподачі, регулювання паливної апаратури;
- покращення повітропостачання;
- підвищення ефективності згоряння на часткових навантаженнях і при мінімальній частоті холостого ходу;
- застосування паливних присадок і водопаливних емульсій;
- вдосконалення динаміки перехідних режимів;
- забезпечення рівномірного розподілу палива між циліндрами;
- оптимізація фаз газорозподілу, ступеня стиску та інших конструктивних параметрів;
- збіднення паливної суміші у двигунах з іскровим запалюванням;
- впровадження проміжного охолодження наддувного повітря.

Нейтралізація та рециркуляція відпрацьованих газів Цей напрям передбачає впровадження:

- систем рециркуляції (EGR) для зниження концентрацій NO_x ;
- каталітичних нейтралізаторів для окиснення CO та вуглеводнів;
- сажових фільтрів для уловлювання твердих частинок.

Вдосконалення нормативної бази токсичності. Необхідно:

- коригувати чинні норми токсичності з урахуванням канцерогенних компонентів;
- розширити перелік нормованих токсикантів;
- враховувати реальні експлуатаційні режими замість модельних навантажень;
- використовувати високошвидкодійні автоматизовані діагностичні комплекси, здатні у реальному часі надавати усереднені експлуатаційні

					ПІННІ НУК 142.41.25.02 ПЗ	Арк.
						81
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

показники токсичності, з урахуванням вагомості впливу кожного токсиканта (наприклад, СО як еталон).

Математичне моделювання процесів утворення токсикантів доцільно розробляти та застосовувати:

- моделі формування токсичних компонентів у циліндрах ДВЗ;
- адаптовані моделі до реальних умов експлуатації;
- алгоритми оцінки екологічних характеристик на всіх режимах роботи двигуна.

Поглиблена комп'ютеризація системи керування ДВЗ сучасні системи керування мають включати:

- адаптивне регулювання процесів згоряння;
- автоматичне коригування параметрів у реальному часі;
- забезпечення високої паливної ефективності при мінімальних викидах.

Комплексний паливно-екологічний критерій потрібно використовувати узагальнений показник, який дозволяє:

- одночасно оцінювати вплив на економічність та екологічність;
- забезпечити оптимальний баланс між витратами пального і рівнем викидів;
- проводити порівняльний аналіз при виборі конструктивних рішень.

Вдосконалення систем діагностики у реальному часі йдеться про:

- застосування сенсорів токсичних компонентів у випускних системах;
- інтеграцію даних у бортову систему діагностики;
- оперативне виявлення відхилень від нормативних показників токсичності.

4.4 Заходи щодо зниження шуму та вібрації.

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

					ПІННІ НУК 142.41.25.02 ПЗ	Арк.
						82
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 4.1 Санітарні норми шуму

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

Двигуни внутрішнього згоряння є одними з основних джерел шуму, що негативно впливає на людей. Шум – це комплекс звуків, що змінюються за частотою та рівнем. Як відомо, звук має хвильову природу, розповсюджується у будь-якому середовищі і приймається органами слуху людини у результаті дії на них звукових хвиль. В основному, двигуни випромінюють хвилі з частотою від 20 до 8000 Гц.

Основними характеристиками звуку є тиск і сила звуку. Тиск звуку являє собою різницю між миттєвим значенням тиску в хвилі і барометричним тиском.

Найменший тиск звуку, що сприймається людиною, і який називають пороговим, становить $2 \cdot 10^{-5}$ Н/м².

Сила звуку – кількість енергії, яка переноситься хвилею в одиницю часу через одиницю площі. Сила звуку вимірюється у Вт/м² і є величиною, пропорційною квадратові тиску звуку. Порогове значення сили звуку становить 10^{-12} Вт/м². Тиск і сила звуку змінюються у широких межах, тому для вимірювання шуму використовують логарифмічну шкалу і логарифмічні одиниці – децибели (дБ). Рівнем шуму називають двадцяти-кратний логарифм відношення тиску звуку до його порогового значення, або десятикратний логарифм відношення сили звуку до її порогового значення.

Шум двигунів внутрішнього згоряння має двояке походження. З одного боку, це шум механічного походження, що виникає внаслідок ударів у рухомих з'єднаннях кривошипно-шатунного та газорозподільного механізмів і паливної апаратури, а також різкої зміни дії газових сил на деталі двигуна при виконанні робочого циклу.

З іншого боку, це шум газодинамічного (гідравлічного) походження, що є наслідком збурень, які виникають у процесі руху газоподібних і рідких середовищ в агрегатах двигуна і при згорянні паливоволітряної суміші.

					ПННІ НУК 142.41.25.02 ПЗ	Арк.
						83
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рівень шуму двигунів внутрішнього згоряння на номінальному режимі досягає 110-120 дБ. Він значною мірою залежить, від таких експлуатаційних факторів, як навантаження та частота обертання. Зменшення частоти обертання знижує рівень шуму на 10-15 дБ.

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

Таблиця 4.2 Санітарні норми вібрації

Напрямок нормування вібрації	Середньоквадратична віброшвидкість (чисельник, $\text{м/с} \cdot 10^{-2}$), 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

Для зменшення рівня шуму двигуна використовують різні конструктивні засоби, обладнують двигуни глушниками.

До конструктивних засобів, що спрямовані на зниження шуму двигуна, відносяться: зменшення зазорів у рухомих з'єднаннях, застосування дезаксимального кривошипно-шатунного механізму, кулачка розподільного валу з безударним профілем, використання шумопоглинаючих накладок, збільшення товщини стінок циліндра у тій частині, де має місце різка зміна тиску газів, застосування таких конструкцій камер згоряння, які забезпечують плавний ріст тиску газів.

Для зниження шуму впуску застосовують спеціальні конструкції повітроочисників, у яких використовуються шумоізолюючі прокладки, резонансні

роширюючі камери глушіння, м'які гофровані шланги. Це дозволяє зменшити рівень шуму впуску на 30-35 дБ.

Для глушіння шуму випуску застосовують глушники різних конструкцій. Конструкцію глушника та його розміри вибирають і розраховують для конкретної моделі двигуна. Для інших моделей цей глушник не буде забезпечувати необхідного зниження шуму. Найбільш розповсюджені глушники, у яких для глушіння використовуються розширювальні і резонансні камери, спеціальні перфоровані труби, сітки, звукопоглинаючі матеріали.

4.5 Техніка безпеки при експлуатації двигуна

У період монтажу, експлуатації, технічного обслуговування двигун-генераторів необхідно дотримуватися вимоги техніки безпеки, охороні праці і пожежної безпеки і, крім того, необхідно виконувати і дотримувати наступного:

- В приміщенні електростанції повинна бути медична аптечка для надання першої допомоги при опіках, травмах і отруєнні газами, а також вогнегасники. Їх вміст і готовність до використання повинні регулярно перевірятися.
- При ремонті двигуна у всіх місцях, пов'язаних з управлінням подачею палива і стислого повітря для пуску двигуна, а також на пульті дистанційного керування вивісити попереджувальні таблички, які застерігають про те, що пуск двигуна забороняється. Після закінчення робіт на двигуні і його майданчиках не дозволяється залишати деталі, інструмент і пристосування. Пролите мастило або вода повинні бути негайно прибрані.
- Паливна система непрацюючого двигун-генератора повинна бути перекрита від подачі палива.
- Перед пуском двигун-генератора перевіряти на герметичність місця з'єднання трубопроводів. Категорично забороняється перевіряти герметичність з'єднань відкритим полум'ям.

					ПІННІ НУК 142.41.25.02 ПЗ	Арк.
						85
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Перед пуском двигуна провертання колінчастого валу уручну здійснювати з відкритими декомпресійними кранами не менше двох оборотів, після чого зняти важіль повороту колінчастого валу і закрити декомпресійні крани.
- Щодня перевіряти розрідження в картері і у разі відхилення від допустимих меж виявляти і усувати несправність.
- Люки картера при необхідності рекомендується відкривати не менше ніж через 15 хв. після зупинки двигун-генератора.
- Машинне відділення повинне бути забезпечене природною або штучною вентиляцією. Вентиляційні канали не можна закривати.
- При поміченій несправності необхідно зупинити працюючий дизель-генератор і усунути несправність.
- Перед шафами управління повинні бути встановлені гумові килимки, на яких обслуговуючий персонал повинен знаходитися при проведенні будь-яких робіт по шафах.
- При роботі в картері двигуна використовувати переносні електролампи напругою 6-36 В. електролампа повинна бути захищена металевією сіткою.
- У приміщенні електростанції забороняється палити і користуватися відкритим вогнем.
- У приміщенні електростанції допускається зберігання тільки таких горючих матеріалів, які необхідні для експлуатації дизель-генератора.
- Двигун-генератор і його основні частини: електрогенератор, дроти, кабелі і розподільні пристрої (шафи) – регулярно (щонеділі), а двигун щоденно, очищати від паливо мастильних речовин, пилу.
- У нічний час при ремонті повинне бути забезпечене хороше освітлення машинного відділення, а також аварійне освітлення, що забезпечує спостереження за свідченнями приладів під час відключення освітлювальної мережі.
- При експлуатації двигуна в контейнері рекомендується носити облягаючий одяг.

					ПІННІ НУК 142.41.25.02 ПЗ	Арк.
						86
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Особи, обслуговуючі двигун-генератор (працюючий) з рівнем шуму вище 85 дБа повинні мати засоби індивідуального протишумного захисту по ГОСТ 12.4.051-78.
- При появі ознак детонації (різкі стуки) негайно понизити навантаження до припинення стуків в циліндрі.

Забороняється:

- пускати двигун при знятому кожусі, що закриває маховик;
- обтирати рухомі і обертаються деталі, підтягувати гайки і болти з'єднань трубопроводів, що знаходяться під тиском, на працюючому двигуні;
- торкатися без застосування теплозахисних засобів до незахищених деталей, не призначених для обслуговування, які мають температуру більш +45°C;
- відкривати декомпресійні крани на працюючому двигуні без приєднаних до них вимірювальних приладів;
- працювати в шафах управління, що знаходяться під напругою;
- провертати двигун уручну при включеному живленні на систему запалення.
- проводити зварювальні роботи електрозварювальним апаратом на працюючому дизель-генераторі.

					ПІННІ НУК 142.41.25.02 ПЗ	Арк.
						87
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВОК

Відповідно до завдання кваліфікаційної роботи бакалавра, тема роботи: «Підвищення техніко-економічних показників стаціонарного двигуна внутрішнього згоряння за рахунок використання альтернативного газового палива».

У ході виконання кваліфікаційної роботи було зроблено опис електростанції на базі газового двигуна 6ЧГН25/34, загальний устрій електростанції та опис двигуна 6ЧГН25/34.

У конструкторському розділі проведено: розрахунок робочого процесу двигуна на генераторному газі; побудована індикаторна діаграма та діаграми сил, що діють на деталі кривошипно-шатунного механізму тепловий баланс двигуна; які дозволяють оцінити навантаження в умовах роботи на альтернативному паливі.

Оскільки газовий двигун є джерелом підвищеного рівня шуму та вібрації, частина кваліфікаційної роботи бакалавра присвячена розробці заходів зі зниження шкідливого впливу його роботи на обслуговуючий персонал та зменшення негативного впливу на навколишнє середовище.

					ПІННІ НУК 142.41.25.02 ПЗ	Арк.
						88
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЛІТЕРАТУРА

1. Абрамчук Ф.І., Гутаревич Ю.Ф. та інш. Автомобільні двигуни. Підручник. – К.: Арістей, 2004. – 476 с.
2. Ваншейдт В.А. Конструирование и расчёты прочности судовых дизелей. Л.: Судостроение, 1969. – 640 с.
3. Гутаревич Ю.Ф., Зеркалов Д.В., та інш. Екологія та автомобільний транспорт. Навчальний посібник: – К.: Арістей. 2006. – 292 с.
4. Двигатели внутреннего сгорания: Конструирование и расчет на прочность поршневых и комбинированных двигателей. Учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности „Двигатели внутреннего сгорания”/ Д.И. Вырубов, С.И. Ефимов, И.А. Иващенко и др.: Под ред. А.С. Орлина, М.Г. Круглова. – 4-е изд., перераб. И доп. – М.:Машиностроение,1984.–384с., ил.
5. Двигуни внутрішнього згорання: Серія підручників у 6 томах. Т. 5. Екологізація ДВЗ / За ред. проф. А.П. Марченка та засл. діяча науки України проф. А.Ф. Шеховцова – Харків: Прапор, 2004. – 360 с.
6. ДИЗЕЛИ. Справочник. Изд. 3-е перераб. и доп. Под общей редакцией В.А.Ваншейдта, Н.Н. Иванченко, Л.К. Коллерова. Л., „Машиностроение”,1977. 480 с. с ил.
7. Каширин Р.В., Голубев Л.Ю., Соколов М.Ф. «Пособие для должностных лиц и специалистов по курсу «Охрана труда»». Николаев: «Учебный центр», 2003.
8. Натальчишина В.П., Брендуля М.Ф., Гиль О.О. Вимоги до оформлення курсових та дипломних проектів (робіт). Методичні вказівки для студентів інституту та коледжу. – Первомайськ: ППІ – 47с.
9. Полтев В.Н. «Охрана труда в машиностроении».
10. Руководство по эксплуатации двигун-генератора 6ГЧН 25/34
11. Фомин Ю.Я., Горбань А.И., и др. Судовые двигатели внутреннего сгорания: Учебник/ – Л.: Судостроение, 1989. – 344 с.: ил.

					ПІННІ НУК 142.41.25.02 ПЗ	Арк.
						89
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Шановні члени Державної екзаменаційної комісії !

Я, Маніта Олександр Васильович, представляю до Вашої уваги кваліфікаційну роботу бакалавра на тему:

«Підвищення техніко-економічних показників стаціонарного двигуна внутрішнього згоряння потужністю 400 кВт за рахунок вдосконалення системи подачі газового палива. Прототип — 6ГЧН25/34».

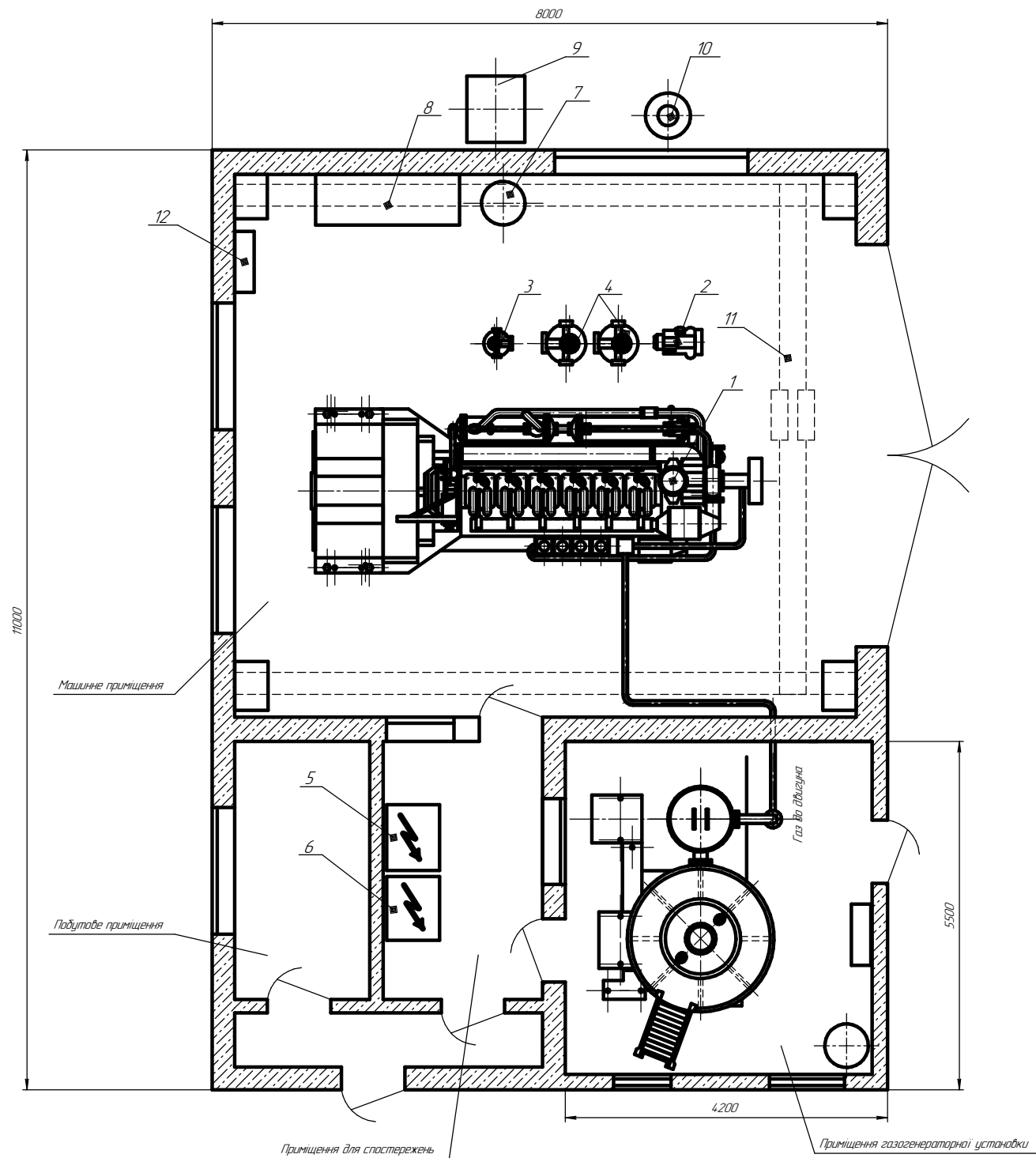
Кваліфікаційна робота бакалавра оформлена у вигляді пояснювальної записки, а графічної частини, що включає 5 аркушів формату А1 та 1 аркуш формату А2.

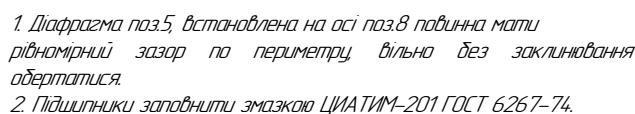
В пояснювальній записці виконаний опис двигуна, електростанції. Зроблений розрахунок робочого процесу, побудована індикаторна діаграма та діаграми сил, що діють на деталі кривошипно-шатунного механізму тепловий баланс двигуна. Також опис елементів системи газопостачання, опис газогенераторної установки та зроблені розрахунки паливної системи . Газовий двигун 6ГЧН25/34 потужністю 400 кВт призначений для приводу електрогенератора змінного струму та встановлюється в машинному залі електростанції. Загальна конструкція дизельного двигуна подана у Додатку 2 графічної частини роботи.

Значну увагу в роботі приділено розробці елементів паливної системи двигуна 6ГЧН25/34, що працює на генераторному газі. Виконано розрахунок змішувальної камери та впускного колектора. Загальний вигляд електростанції наведено в Додатку 1, схема газогенераторної установки — у Додатку 3, схема подачі газу — у Додатку 6, а складальне креслення заслінки — у Додатку 4.

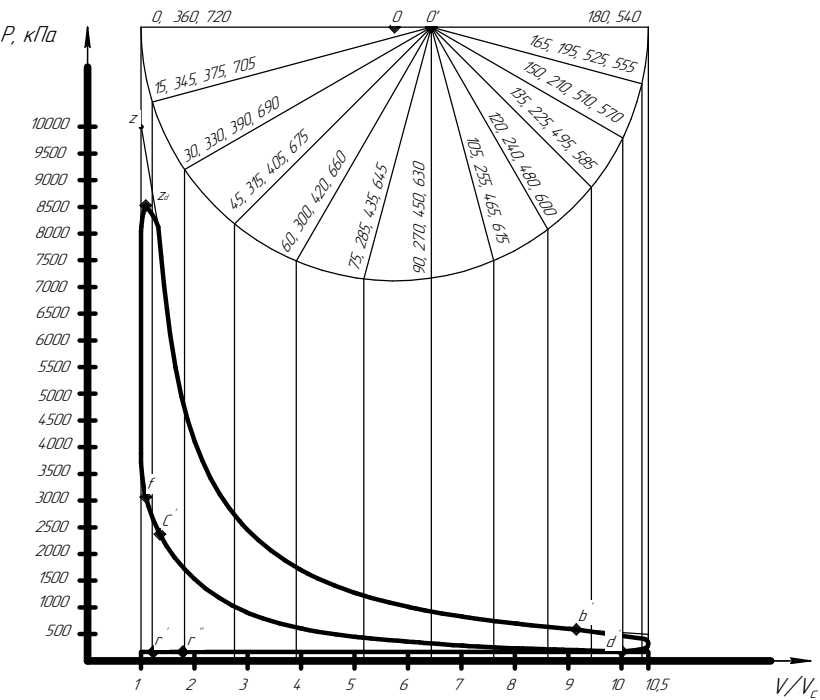
Оскільки газовий двигун 6ГЧН25/34 є джерелом шуму та вібрації, в роботі також розглянуто заходи зі зниження їх негативного впливу на обслуговуючий персонал і навколишнє середовище.

Доповідь завершено. Дякую за увагу. Готовий відповісти на Ваші запитання.

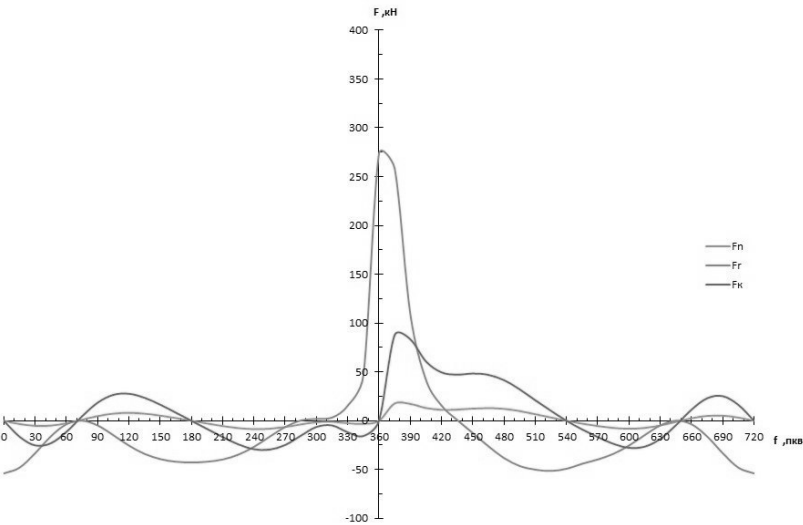
[illegible]



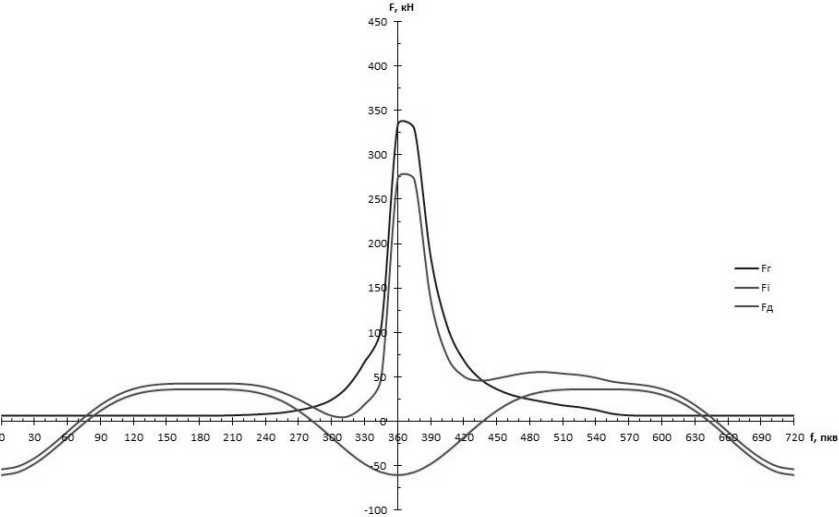
Формат А2

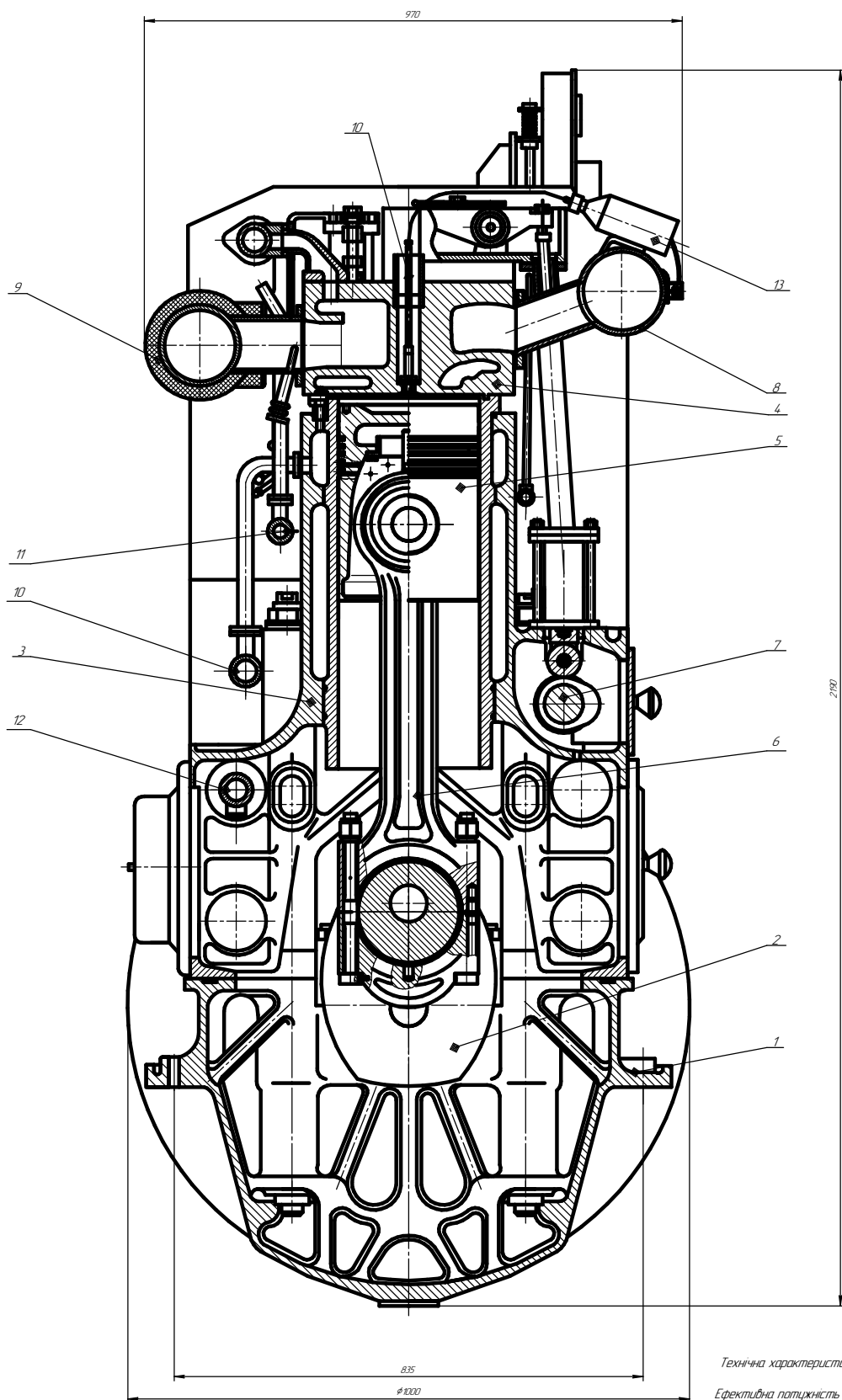


Графік нормальної, радіальної та дотичної сили



Графік сил газів, інерції та дійсної сили





Технічна характеристика

Ефективна потужність $P_e = 400$ кВт.
Частота обертання колінчастого валу $n = 500$ хб⁻¹.
Діаметр циліндра $D = 250$ мм.
Хід поршня $S = 340$ мм.
Ступінь стиску $\epsilon = 10,5$
Ефективна витрата газопалива $b_{ge} = 1,615$ м³/(кВт·год)

Технічні вимоги
Масло яке використовується на двигуні – МГ10Г, ЦС.
Охолоджувача рідина вода прісна з антикорозійною присадкою ВНИИТТ117/Д.

ПНН НУК14.2.4.125.2.10.0 СК									
Газовий									
двигун 6ГЧН 25/34									
Поперечний переріз									
41-ЕМ-21а									
Копія									
Формат А1									

Перв. примен.		Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
Справ. №						Документація		
		A1			ПННІ НУК14.2.4.1.25.2.1.0.0 СК	Складальне креслення		
						Складальні одиниці		
Подп. и дата		A1	1		ПННІ НУК14.2.4.1.25.2.1.1.0	Рама Фундаментна	1	
		A1	2		ПННІ НУК14.2.4.1.25.2.1.2.0	Вал колінчастий	1	
		A1	3		ПННІ НУК14.2.4.1.25.2.1.3.0	Блок – картер	1	
		A1	4		ПННІ НУК14.2.4.1.25.2.1.4.0	Кришка циліндру	6	
		A1	5		ПННІ НУК14.2.4.1.25.2.1.5.0	Поршень	6	
		A1	6		ПННІ НУК14.2.4.1.25.2.1.6.0	Шатун	6	
		A1	7		ПННІ НУК14.2.4.1.25.2.1.7.0	Вал розподільний	1	
		A1	8		ПННІ НУК14.2.4.1.25.2.1.8.0	Колектор впускний	1	
		A1	9		ПННІ НУК14.2.4.1.25.2.1.9.0	Колектор випускний	1	
		A1	10		ПННІ НУК14.2.4.1.25.2.1.10.0	Трубопровід води	1	
		A1	11		ПННІ НУК14.2.4.1.25.2.1.11.0	Трубопровід пускового повітря	1	
		A1	12		ПННІ НУК14.2.4.1.25.2.1.12.0	Трубопровід масла	1	
		A1	13		ПННІ НУК14.2.4.1.25.2.1.13.0	Система запалювання	1	
Взам. инв. №								
Подп. и дата								
Инв. № подл.								
Изм. Лист								
Н.контр. Утв.								
Изм. Лист								
Н.контр. Утв.								
Изм. Лист								
Н.контр. Утв.								
Изм. Лист								
Н.контр. Утв.								
Изм. Лист								
Н.контр. Утв.								
Изм. Лист								
Н.контр. Утв.								
Изм. Лист								
Н.контр. Утв.								
Изм. Лист								
Н.контр. Утв.								
Изм. Лист								
Н.контр. Утв.								
Изм. Лист								
Н.контр. Утв.								
Изм. Лист								
Н.контр. Утв.								
Изм. Лист								
Н.контр. Утв.								
Изм. Лист								
Н.контр. Утв.								
Изм. Лист								
Н.контр. Утв.								
Изм. Лист								
Н.контр. Утв.								
Изм. Лист								
Н.контр. Утв.								
Изм. Лист								
Н.контр. Утв.								
Изм. Лист								
Н.контр. Утв.								
Изм. Лист								

Перв. примен.		Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание	
						Документація			
		A1			ПННІ НУК14.2.4.1.25.2.0.0.0 ПД	Складальне креслення			
						Складальні одиниці			
Справ. №			1		ПННІ НУК14.2.4.1.25.2.1.0.0	Двигун-генератор ДВГА-400	1		
			2		ПННІ НУК14.2.4.1.25.2.2.0.0	Компресор	1		
			3		ПННІ НУК14.2.4.1.25.2.3.0.0	Балон власних потреб	1		
			4		ПННІ НУК14.2.4.1.25.2.4.0.0	Балон пусковий	2		
			5		ПННІ НУК14.2.4.1.25.2.5.0.0	Щит розподільчий	1		
			6		ПННІ НУК14.2.4.1.25.2.6.0.0	Шкаф керування	1		
			7		ПННІ НУК14.2.4.1.25.2.7.0.0	Пожежний бак води	1		
			8		ПННІ НУК14.2.4.1.25.2.8.0.0	Пожежний щит	1		
			9		ПННІ НУК14.2.4.1.25.2.9.0.0	Градирня	1		
			10		ПННІ НУК14.2.4.1.25.2.10.0.0	Глушник іскрогасник	1		
			11		ПННІ НУК14.2.4.1.25.2.11.0.0	Кран мостовий	1		
			12		ПННІ НУК14.2.4.1.25.2.12.0.0	Протипожежна система	1		
Подп. и дата									
Инв. № дубл.									
Взам. инв. №									
Подп. и дата									
Инв. № подл.									
					ПННІ НУК14.2.4.1.25.2.0.0.0				
	Изм.	Лист	№ докум.		Подп.	Дата			
	Разраб.	Маніта					Лит.	Лист	Листов
	Проб.	Дубовець							1
							41-ЕМ-21з		
	Н.контр.	Дубовець							
	Утв.	Нестеренко							
Загальний вид електростанції									
Копировал									
Формат А4									

Перв. примен.		Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
						Документація		
					ПННІ НУК14.2.4.1.25.2.1.14.0 СК	Складальне креслення		
						Складальні одиниці		
				1	ПННІ НУК14.2.4.1.25.2.1.14.1	Корпус	1	
						Деталі		
				2	ПННІ НУК14.2.4.1.25.2.1.14.2	Кришка	1	
				3	ПННІ НУК14.2.4.1.25.2.1.14.3	Прокладка	2	
				4	ПННІ НУК14.2.4.1.25.2.1.14.4	Діафрагма	1	
				5	ПННІ НУК14.2.4.1.25.2.1.14.5	Планка	1	
				6	ПННІ НУК14.2.4.1.25.2.1.14.6	Кришка	1	
				7	ПННІ НУК14.2.4.1.25.2.1.14.7	Ось	1	
						Стандартні вироби		
				8		Підшипник ГОСТ 8338-75	2	
						Болт ГОСТ 7805-70		
				9		М5-8d x 12	8	
				10		М5-8d x 14	3	
				11		Шайба ГОСТ 6402-70	11	
				12		Сальник 15x26x7		
						ГОСТ 8752-79	1	
Підп. і дата					ПННІ НУК14.2.4.1.25.2.1.14.0			
		Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		
Инв. № подл.	Разраб.	Маніта					Заслонка	Лит.
	Проб.	Дубовець						Лист
								Листов
								1
Инв. № подл.	Н.контр.	Дубовець					41-ЕМ-21з	
	Утв.	Нестеренко						

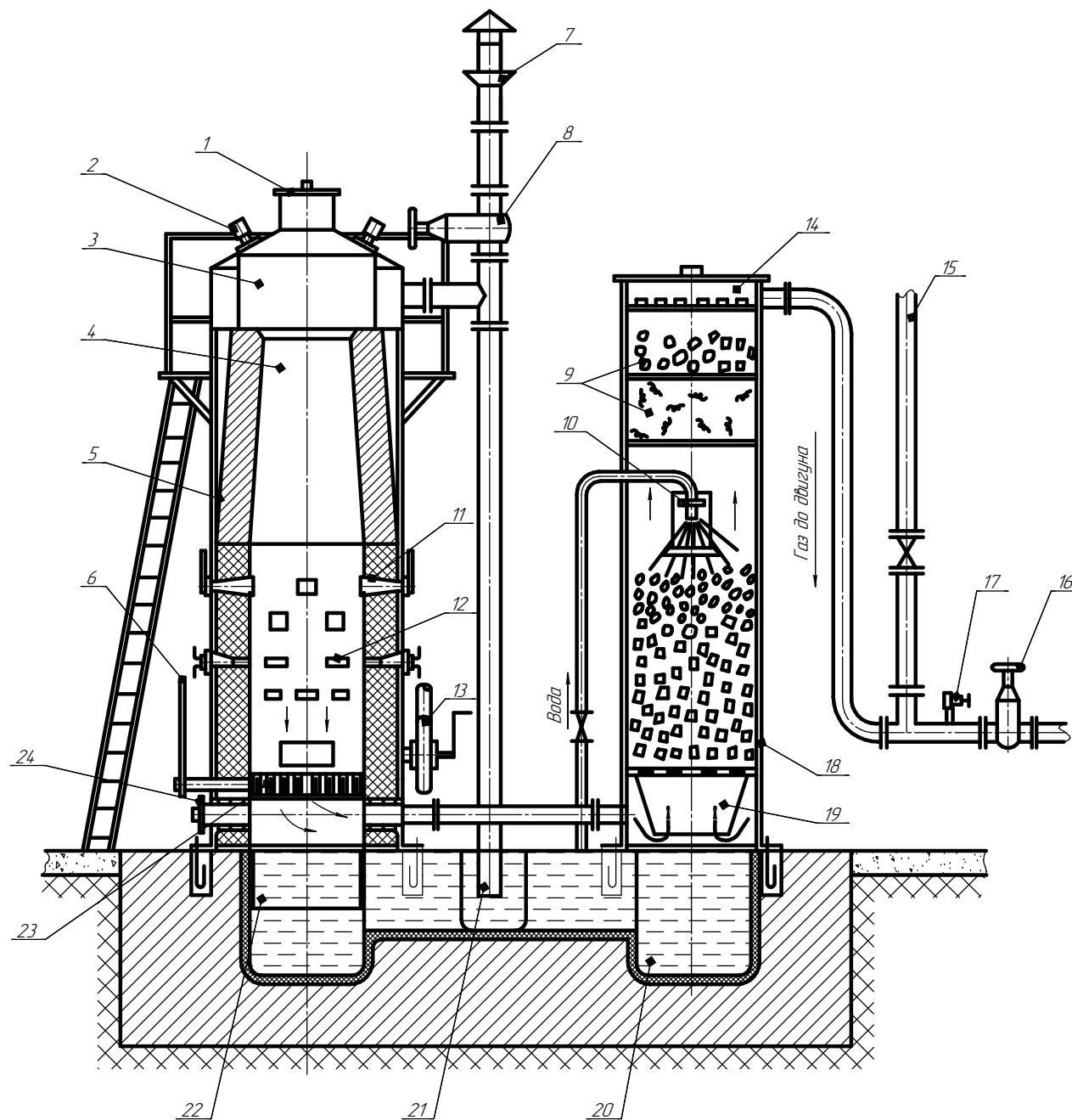
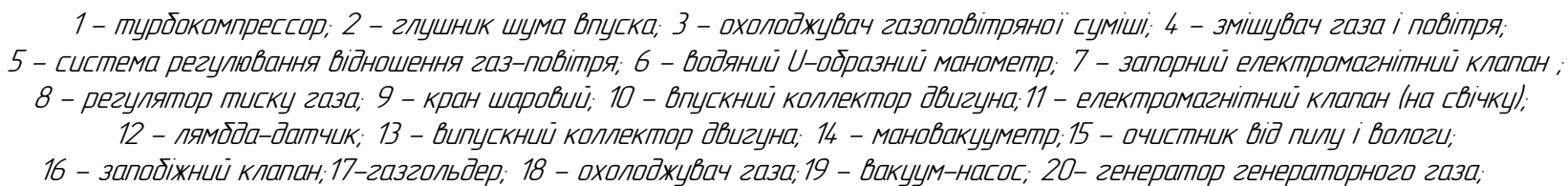


Схема газогенераторної установки.

1-паливо-завантажувальний пристрій, 2-конічні продки, 3- металічний циліндр з отворами, 4- цеглова футеровка, 5- металевий циліндр, 6- рычажний механізм, 7- димова труба, 8-запорна засувка, 9- дрів'яні чурки і дрів'яна стружка, 10-зрошувачі пристрої, 11,12- фури, 13-ручний вентилятор, 14- кришка, 15-продувачна труба, 16-запорна засувка, 17-контрольний крап, 18-камбінований ачисник, 19-віддіючий конус, 20-прямак, 21-стояк, 22-сталеве кільце, 23-коласникова решітка, 24-вентиль запорний.

[illegible]

[illegible]

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

Факультет – Інженерно-економічний

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

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Гарант освітньої програми

(підпис)
«___»_____ 2025 р.

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

Студенту Маніта Олександрову Васильовичу

1. Тема роботи: Підвищення ефективності стаціонарного двигуна внутрішнього згоряння потужністю 400 кВт шляхом модернізації системи подачі газового палива.
Прототип – 6ГЧН25/34
Затверджено розпорядженням ПННІ НУК від 10.02.2025 року № 24.
2. Термін подання студентом роботи до розгляду на кафедру 12.05.2025 року.
 3. Вихідні данні по роботі: Двигун-прототип 6ГЧН25/34, номінальною потужністю 400кВт.
 4. Перелік питань, що належать до розробки (найменування розділів):
Вступ.
Розділ 1. Опис конструкції базового двигуна 6ГЧН25/34.
Розділ 2. Розрахунок робочого процесу та динаміки двигуна.
Розділ 3. Розробка системи газопостачання.
Розділ 4. Розробка заходів з охорони праці та захисту навколишнього середовища.
Висновки.
 5. Перелік презентаційних матеріалів.
 1. Двигун 6ГЧН25/34 (СК). 2. Заслінка (СК), 4. Двигун-насос (СК), 4. Індикаторна діаграма та діаграми сил, що діють в КШМ, ІД, Схema подачі газу інжекторного типу(СХ)

Параметри робочого тіла.

Теоретично необхідна кількість повітря для згоряння 1 кмоль газу.

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

$$L_0 = 1,098 \text{ кмоль/кмоль}$$

Загальна кількість продуктів свіжого заряду.

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

$$M_1 = 2,6464 \text{ кмоль/кмоль}$$

Кількість окремих компонентів продуктів згоряння.

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

$$M_{\text{CO}_2} = 0,802 \text{ кмоль}$$

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

$$M_{\text{H}_2\text{O}} = 0,062 \text{ кмоль}$$

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

$$M_{\text{O}_2} = 0,115 \text{ кмоль}$$

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

$$M_{\text{N}_2} = 1,820 \text{ кмоль}$$

Загальна кількість продуктів згоряння.

$$M_2 = M_{\text{CO}_2} + M_{\text{H}_2\text{O}} + M_{\text{O}_2} + M_{\text{N}_2}, \text{ кмоль/кг} \quad 2,799 \text{ кмоль}$$

Змінення об'єму при згорянні 1 кмоль газу.

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

$$\Delta M = 0,1525 \text{ кмоль}$$

Теоретичний коефіцієнт молекулярної зміни.

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

$$\beta_0 = 1,057625$$

$$Q_e = 403128,377 \text{ Дж/с}$$

у відсотковому відношенні

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

$$q = 45,48 \%$$

Перевірка: $Q'_e = Q_n \cdot \eta_e$

$$Q'_e = 400000 \text{ Дж/с}$$

Вираховуємо похибку

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

$$\Delta = 0,776 \%$$

похибка не перевищує 1%

Теплота, яка відводиться охолоджувальною рідиною:

$$Q_v = Q_w + Q_{T.P.} + Q_{в.н.}$$

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

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

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

Теплообмін між робочим тілом і стінками циліндра.

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

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

З експериментальних даних:

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

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

$$Q_w = 88642,0768 \text{ Дж/с}$$

Теплота, еквівалентна роботі на тертя поршня по гільзі циліндра.

Середній тиск механічних втрат в механізмах двигуна.

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

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

тиску механічних втрат

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

$$C_m = 5,66666667 \text{ м/с}$$

$$P_{мд} = 154,866667 \text{ кПа}$$

Консультанти розділів роботи

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

Дата видачі завдання «10» лютого 2024р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

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

Студент _____ *Маніта О.В.*
(підпис)

Керівник роботи _____ *Дубовець А.І.*
(підпис)

Параметри процесу наповнення.

Температура повітря після нагнітача.

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

$$T_B = 363,5 \quad K$$

Температура повітря після охолоджувача.

$$T_{int} = T_B - (10 - 50^0)$$

$$\text{число з інтервалу} = 20 \quad K$$

$$\Delta T_{int} = 343,5 \quad K$$

Температура газоповітряної суміші.

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

$$T_{cm} = 334,6 \quad K$$

де $T_r = 320 \quad K$ - температура поступаючого газу.

Коефіцієнт залишкових газів.

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

де $P_d = P_{\epsilon} \times 0.95$ тиск в кінці впуску.

$$P_d = 165,6 \quad \text{кПа}$$

$$\gamma_r = 0,0506$$

Коефіцієнт наповнення.

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

$$\Phi_c = 0,860$$

Температура газоповітряної суміші на початку стиску.

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

Середній тиск тертя поршня:

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

$$P_{\text{ср.т.}} = 92,92 \text{ кПа}$$

Потужність тертя поршня:

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

де V_s - Робочій об'єм циліндру.

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

$$V_s = 0,0167 \text{ м}^3$$

$$P_n = 38,75 \text{ кВт}$$

Теплота, еквівалентна роботі тертя поршня:

$$Q_{\text{т.п.}} = 1000 \cdot P_{\text{п}}$$

$$Q_{\text{т.п.}} = 38750,5 \text{ Дж/с}$$

Теплота, еквівалентна роботі на привід водяного насосу:

Визначаємо витрату води як суму теплоти:

$$Q_B = Q_W + Q_{\text{т.п.}}$$

$$Q'_B = 127392,621 \text{ Дж/с}$$

тоді витрата охолоджуючої рідини:

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

$$K=1,2-1,5 \text{ коефіцієнт запасу.} \quad K=1,3$$

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

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

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

$$\Delta T_v = 6 \text{ К}$$

$$V_B = 0,0066 \text{ м}^3/\text{с}$$

Потужність, яка використовується на привід водяного насосу.

$$P_{\text{в.н.}} = V_v \cdot \Delta P_v / \eta_{\text{в.н.}}$$

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

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

$$\eta_{\text{в.н.}} = 0,85$$

Анотація

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи бакалавра на тему «Покращення технічних параметрів газового двигуна потужністю 400 кВт за рахунок використання альтернативного газового палива» складається зі вступу, чотирьох розділів та шести додатків, що включають три специфікації й шість аркушів креслень.

У текстовій частині наведено: опис конструкції двигуна-прототипу 6ЧГН25/34, загальні відомості про електростанцію, результати розрахунку робочого процесу з визначенням основних параметрів, побудова теплового балансу та індикаторних діаграм (теоретичної і дійсної), а також динамічний розрахунок з побудовою діаграм сил, які діють на кривошипно-шатунний механізм (КШМ).

У третьому розділі розглянуто систему газопостачання, газогенераторну установку та здійснено розрахунки елементів паливної системи. Також у роботі розроблено заходи з охорони праці й захисту довкілля, а в завершенні наведено узагальнені висновки.

До додатків включено: креслення двигуна 6ЧГН25/34 (поперечний переріз), складальне креслення заслінки, діаграми сил на елементи КШМ, загальний вигляд електростанції, схему подачі газу до двигуна та схему газогенераторної установки.

Abstract

Explanatory note to the bachelor's qualification work on the topic "Improvement of technical parameters of a 400 kW gas engine through the use of alternative gas fuel" consists of an introduction, four sections and six appendices, including three specifications and six sheets of drawings.

The text part provides: a description of the design of the prototype engine 6ЧГН25/34, general information about the power plant, the results of the calculation of the workflow with the determination of the main parameters, the construction of a heat

$$T_d = 376,5 \text{ K}$$

Параметри процесу стиску.

Тиск в кінці стиску.

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

$$P_c = 3867,7 \text{ кПа}$$

Температура в кінці стиску.

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

$$T_c = 837,5 \text{ K} \quad t_c = 564,5 \text{ C}$$

Параметри процесу згоряння.

Дійсний коефіцієнт молекулярної зміни.

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

$$\beta = 1,054852$$

Максимальна температура циклу знаходиться з рівняння балансу:

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

склад продуктів згорання в об'ємних долях:

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

$$R_{CO_2} = 0,287$$

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

$$R_{H_2O} = 0,022$$

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

$$P_{в.н.} = 0,76 \text{ кВт}$$

$$\text{Тоді } Q_{в.н.} = 759,503 \text{ Дж/с}$$

Загальна теплота, яка відводиться охолоджувальною рідиною.

$$Q_{\Sigma} = Q_w + Q_{Г.П} + Q_{в.н.}$$

$$Q_{\Sigma} = 128152,1 \text{ Дж/с}$$

що складає у відсотковому відношенні:

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

$$q_{\Sigma} = 14,46 \%$$

Теплота, яка виноситься випускними газами:

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

$mC_p'' = 8,314 + mC_p''$ Ізобарна теплоємність продуктів згорання

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

$$mC_p'' = 31,2660 \text{ кДж/кмоль К}$$

$$mC_p' = 35,6390 \text{ кДж/кмоль К}$$

$$Q_{Г} = 316276,198 \text{ Дж/с}$$

Що складає у відсотковому відношенні:

$$q_{Г} = Q_{Г} / Q_{П} \cdot 100\%$$

$$q_{Г} = 35,680 \%$$

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

Теплота, яка відводиться маслом, від гарячих деталей двигуна.

$$Q_{М} = (Q_w + Q_{МД}) - Q_{\Sigma}$$

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

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

$$\Delta_{МД} = 0,07229417$$

balance and indicator diagrams (theoretical and actual), as well as a dynamic calculation with the construction of force diagrams acting on the crank mechanism (CKM).

The third section considers the gas supply system, gas generator set and calculations of the fuel system elements are carried out. The work also develops measures for labor protection and environmental protection, and at the end, generalized conclusions are given.

The appendices include: a drawing of the 6ЧГН25/34 engine (cross-section), an assembly drawing of the damper, force diagrams on the KShM elements, a general view of the power plant, a diagram of the gas supply to the engine, and a diagram of the gas generator unit.

$$R_{O_2} = 0,041$$

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

$$R_{N_2} = 0,650$$

Мольна теплоємність продуктів згоряння:

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

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

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

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

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

Після підстановки одержимо рівняння.

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

де:

$$a = 27,96$$

$$b = 173,07$$

теплоємність газового палива.

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

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

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

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

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

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

$$mCv_{N_2} = 20,637 + 255,4 \times 10^{-5} x_{t_c}$$

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

Після підстановки одержимо рівняння.

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

де:

$$a = 14,84$$

$$b = 392,82$$

тоді

$$Q_{MD} = 64083,0498 \text{ Дж/с}$$

$$Q_{M1} = 24573,003 \text{ Дж/с}$$

Теплота, еквівалентна роботі на привід насоса системи мащення.
Витрата циркуляційного масла.

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

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

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

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

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

$$\Delta T_M = 10 \text{ К}$$

$$V_M = 0,00195583 \text{ м}^3/\text{с}$$

потужність, яка використовується на привід масляного насоса:

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

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

$$P_0 = 300000 \text{ Па}$$

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

$$\eta_M = 0,9$$

$$P_{M.H.} = 0,7 \text{ кВт}$$

тоді

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

$$Q_{M2} = 651,94 \text{ Дж/с}$$

Загальна кількість теплоти складає:

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

$$Q_M = 25224,9 \text{ Дж/с}$$

$$mC_{V_{\Gamma}} = 17,06$$

мольна теплоємність газоповітряної суміші при постійному об'ємі.

$$mC_{V_{cm}} = \frac{mC_{V_{zn}} + mC_{V_{nov}} \cdot \alpha \cdot L_0 + mC_{V_m} \cdot \gamma_r (1 + \alpha \cdot L_0)}{(1 + \alpha \cdot L_0) \cdot (1 + \gamma_r)}$$

Після підстановки одержимо рівняння.

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

де:

$$a = 21,36$$

$$b = 8,33$$

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

$$a = 22,71$$

$$b = 129,80$$

середня мольна теплоємність газоповітряної суміші при постійному тиску.

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

Після підстановки одержимо рівняння.

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

де:

$$a = 21,36$$

$$b = 4,16$$

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

$$mC_p = 8.314 + 19.86 + \frac{1.68}{\alpha} + \left(427.38 + \frac{18436}{\alpha} \right) \cdot 10^{-5} \times t_z$$

Після підстановки одержимо рівняння.

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

де:

$$a = 29,29$$

$$b = 550,29$$

у відсотковому відношенні

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

$$q_M = 2,85 \quad \%$$

Невраховані теплові втрати

$$Q_{HB} = Q_{\Pi} - (Q_e + Q_g + Q_f + Q_M)$$

$$Q_{H.B.} = 13639,1243 \text{ Дж/с}$$

що складає у відсотковому відношенні:

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

$$q_{H.B.} = 1,54 \quad \%$$

Всі отримані дані зведені в таблицю

Таблиця 2.2

Зведена таблиця теплового балансу.

Складові теплового балансу	Дж/сек	%
теплота, еквівалентна ефективній роботі	403128,38	45,478
теплота, яка відводиться охолоджувальною рідиною	128152,12	14,457
теплота, яка виноситься випускними газами	316276,2	35,680
теплота, яка відводиться маслом	25224,945	2,846
невраховані теплові втрати	13639,124	1,539
Загальна кількість теплоти, введеної в двигун з паливом	886420,77	100

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

$$mC_{pT_Z} = a + \frac{b}{2} \cdot 10^{-5} \times t_Z$$

$$a = 29,29$$

$$b = 275,14$$

Максимальна температура процесу згоряння.

Після підстановки одержимо квадратне рівняння.

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

де:

$$A = 290,24$$

$$B = 30,90$$

$$C = 64291,31$$

Звідки:

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

$$t_Z = 1782,231 \text{ } ^\circ C$$

$$T_Z = 2055,231 \text{ K}$$

Максимальний тиск згоряння.

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

$$P_{\max} = 10011,7 \text{ кПа}$$

Ступінь підвищення тиску

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

$$\lambda = 2,59$$

$$Dl = 10,74 \text{ \%}$$

Dl повинна бути в межах 10%

Ступінь попереднього розширення.

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

$$\rho = 1$$

Параметри процесу розширення.

Ступінь подальшого розширення.

$$\varepsilon = \varepsilon$$

$$\rho = \frac{P}{\rho}$$

$$\delta = 10,5$$

Тиск в кінці розширення.

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

$$P_B = 493,61 \text{ кПа}$$

Температура в кінці розширення.

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

$$T_B = 1063,97 \text{ К}$$

Середня температура випускних газів.

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

$$T_{\text{ср.г.}} = 857,0 \text{ К}$$

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

Температура залишкових газів.

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

$$T_r = 760,1 \text{ К}$$

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

$$DT_r = 6,16 \%$$

Індикаторні показники робочого тіла.

Середній теоретичний індикаторний тиск.

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

$$P_{mi} = 1121,5 \text{ кПа}$$

Індикаторний ККД.

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

$$\eta_i = 0,524$$

Питома індикаторна витрата газу.

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

$$g_i = 1,392 \text{ м}^3 / \text{квт год}$$

Ефективні показники робочого циклу.

Середній тиск механічних втрат.

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

Середня швидкість поршня.

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

$$S_{пп.} = 0,34 \text{ м Хід поршня по прототипу.}$$

$$V_{п.ср.} = 5,66667 \text{ м/с}$$

$$P_M = 154,867 \text{ кПа}$$

Середній ефективний тиск.

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

$$P_{me} = 966,66 \text{ кПа}$$

Механічний К.К.Д.

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

$$\eta_M = 0,86$$

Ефективний К.К.Д.

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

$$\eta_e = 0,451$$

Питома ефективна витрата газу.

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

$$g_e = 1,615 \text{ м}^3 / \text{квт} \cdot \text{год}$$

Годинна витрата газу.

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

$$B = 646,0 \text{ м}^3 / \text{год}$$

Основні розміри циліндра і двигуна.

Літраж двигуна.

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

Z=4 - Коефіцієнт тактності.

$$V_{st} = 99,31 \text{ л}$$

Робочій об'єм циліндра.

$$V_s = \frac{V_{st}}{i}, \text{ л}$$

$$V_s = 16,55 \text{ л}$$

Діаметр циліндра.

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

$$m = \frac{S_{пп}}{d_{пп}}$$

$$d_{пп} = 0,25 \text{ м}$$

$$m = 1,36$$

$$d = 249,4 \text{ мм}$$

Хід поршня.

$$S = m \times d =, \text{ мм}$$

$$S = 339,1 \text{ мм}$$

Уточненні розміри циліндра і двигуна.

Діаметр циліндра.

$$d = 250 \text{ мм}$$

Хід поршня.

$$S = 340 \text{ мм}$$

Літраж двигуна.

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

$$V_{st} = 100,09 \text{ л}$$

Робочій об'єм поршня.

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

$$V_s = 16,68 \text{ л}$$

Ефективна потужність двигуна.

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

$$P_{ep} = 403,1 \text{ кВт}$$

Отримана величина P_{ep} відрізняється від заданої на:

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

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

$$P_{esp} = 401,6 \text{ кВт}$$

$$\Delta P_e = 0,78 \%$$

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