

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

Кафедра «Енергетичне машинобудування»

«Допущений до захисту»

Завідувач кафедри

_____ 2022 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»

на тему: Підвищення ефективності роботи дизельного двигуна потужністю 350 кВт за рахунок удосконалення системи підготовки палива.

Виконав:

студент групи 61-ТЕМмаг-21

_____ ***Трюхан О. В.***

(підпис)

Керівник роботи:

доцент кафедри ЕМ, к.т.н., доцент

(посада, науковий ступень, вчене звання)

_____ ***Нестеренко В.В.***

(підпис)

Первомайськ - 2022 р.

3MICT

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ	
1.1. Інформація про об’єкт використання двигуна	8
1.2. Опис конструкції базового двигуна	11
РОЗДІЛ 2. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ	
2.1 Вимоги до проектового двигуна	18
2.2 Розрахунок робочого циклу дизельного двигуна	20
2.3 Розрахунок теплового балансу двигуна	30
2.4 Розрахунок індикаторної діаграми	35
2.5 Динамічний розрахунок двигуна	39
2.6 Аналіз ефективних показників проектового двигуна та двигуна-прототипу	44
РОЗДІЛ 3. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ	
3.1 Опис паливної системи.	45
3.2 Розрахунок системи підготовки моторного палива	51
3.3 Визначення типу виробництва	54
3.4 Вибір обладнання, пристосування та інструменту	55
3.5 Визначення технічної норми часу	56
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	
4.1 Аналіз шкідливих та небезпечних факторів в машинному відділенні при експлуатації двигуна	58
4.2 Заходи по зниженню рівня шуму та зменшення вібрації в машинному відділенні	62

					ПННІ НУК 131.61.22.06 ПЗ							
Зм.	Арк..	№ документа	Підпис	Дата	Пояснювальна записка			Літера	Лист	Листів		
Розробив	Трюхан О.В.							н		3	72	
Перевірів	Нестеренко В.В							61-ТЕМмаг-21				
Рецензент	Каіров О.С.											
Н. контр	Нестеренко В.В											
Затвердив	Нестеренко В.В											

4.3 Розробка та розрахунок пристроїв, які запобігають вибухам в картері	66
4.4 Охорона навколишнього середовища	66
4.5 Вимоги нормативних документів	67
4.6 Шкідливі викиди дизелів і шляхи їх зменшення	68
4.7 Попередження забруднення моря нафтопродуктами та стічними водами.	69
4.8 Висновок по розділу 4	70
ВИСНОВКИ	71
ЛІТЕРАТУРА	72

ДОДАТКИ:

- Додаток 1
- Додаток 2
- Додаток 3
- Додаток 4
- Додаток 5

		.			<i>ПННІ НУК 131.61.22.06 ПЗ</i>	Лист
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

ВСТУП

Сучасна суднова енергетична установка являє собою складний комплекс механізмів, агрегатів і пристроїв, об'єднаних системами в єдину структуру, покликану забезпечити ефективну, надійну, безаварійну (в тому числі з точки зору екології) і комфортну експлуатацію і функціонування судна. Як випливає із самої назви, головним призначенням суднової енергетичної установки є забезпечення судна енергією, у всіх затребуваних видах (теплової, електричної, механічної). Всі види енергії, необхідні для функціонування судна генеруються в автономному режимі з бортових запасів палива в тепловій машині (двигуні внутрішнього згоряння, паровому або термомасильному котлі, паровій або газовій турбіні). При цьому найпоширенішим типом суднового головного двигуна є дизелі, що володіють, в порівнянні з іншими типами двигунів, найменшою питомою витратою палива і найбільшим коефіцієнтом корисної дії.

Нині в суднових енергетичних установках найширше застосовується рідке органічне паливо, що є продуктом переробки нафти. Сучасні моделі дизелів працюють на важкому паливі, якому перед застосуванням у циліндрі потрібно надати необхідну і відповідну підготовку. Як палива в дизелях використовують переважно продукти переробки нафти, що представляють собою складну суміш різних груп вуглеводнів.

У суднових дизелях застосовують два види палив нафтового походження: дистилятні і важкі.

Дистилятні палива мають низьку в'язкість, завдяки чому можуть бути використані в дизельних установках без підігріву в цистернах і перед двигуном. До них відносяться дизельні і газотурбінні палива. Дизельні палива одержують у процесі прямої перегонки нафти. Вони містять, в основному фракції, що википають при температурі 230...345°C. Газотурбінні палива являють собою дистилятні палива, одержувані методом уповільненого коксування з гудрону і крекінг-залишків сірчистих нафти. Палива характеризуються низькою зольністю,

					ПННІ НУК 131.61.22.06 ПЗ	Лист
						5
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

незначним змістом механічних домішок, але високим змістом сірки і смолистих речовин.

Важкі палива являють собою суміші залишкових нафтопродуктів прямої перегонки нафти або найчастіше крекінг-залишків з дистилатними фракціями [1].

Надійна експлуатація дизелів в таких умовах неможлива без процесу підготовки палива. Одним із способів обробки палива є зміна його фізико-хімічного складу, яке можна розділити на:

- 1) очищення від домішок;
- 2) хімічну обробку.

До першої групи належать відстоювання, сепарація і фільтрація; а до другої – застосування паливних присадок.

На даний момент конструктивне і технологічне виконання суднових двигунів внутрішнього згоряння досягло своєї досконалості, що забезпечує мінімальні питомі витрати палива даних типів теплових двигунів в порівнянні з іншими (паровими котлами та газовими турбінами). Тому використання присадок до палива вважається одним із шляхів підвищення паливної економичності дизелів [2].

Палива, по вітчизняній класифікації, розділяють на чотири групи: дизельне, моторне, флотський мазут, котельний мазут. Дизельне паливо вважається легким, а інші важкими. Проте, на даний момент усі суднові дизелі (як головні, так і допоміжні) працюють на важкому паливі, що накладає певні умови на систему підготовки палива.

Підготовка палива до використання в суднових дизелях проводиться комплексно, починаючи з прийому палива на судно і кінчаючи його подачею в двигун [3].

Існує певна закономірність: чим більше частота обертання колінчастого валу двигуна, тим вище вимоги до палив. Це пояснюється тим, що зі збільшенням частоти обертання зменшується час, за який мають відбутися процеси сумішоутворення і згорання палива.

					ПННІ НУК 131.61.22.06 ПЗ	Лист
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

Для середньо і мало обертових дизелів (СОД і МОД), зазвичай, використовуються важкі палива, до яких пред'являються знижені вимоги по в'язкості і забрудненню в порівнянні з паливами, що використовуються в високооборотних дизелях. Тому при застосуванні важких палив необхідно використовувати додаткову систему підготовки палива, що забезпечує очищення і підігрів палива перед поданням в видатковий бак. В останні роки має місце тенденція до застосування важких палив на тепловозних дизелях, які встановлюються і на суднах для приводу генераторів.

Мета роботи - дослідження індикаторних та ефективних показників дизельного двигуна при використанні важких палив.

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

Об'єкт дослідження - дизельний двигун 6ЧН25/34, який випускається підприємством ТДВ «ПЕРВОМАЙСЬКДИЗЕЛЬМАШ», місто Первомайськ, Миколаївська обл., Україна

Апробація результатів дослідження – доповідь на VII Міжнародній науково-технічній конференції «Актуальні проблеми інженерної механіки та технології машинобудування», що відбулася 23–24 листопада 2022 року в Національному університеті кораблебудування імені адмірала Макарова (м. Миколаїв) [9].

					ПННІ НУК 131.61.22.06 ПЗ	Лист
						7
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

1.1. Інформація про об'єкт використання двигуна

Судно «Генерал Кравцов» є одно гвинтовим однопалубним танкером з напівбаком, з подовжньою перегородкою, подвійним дном і бортами у вантажній частині і кормовим розташуванням надбудови та енергетичних відсіків.

Основні характеристики.

Довжина, м :	
найбільша	179
між перпендикулярами	165
Ширина найбільша, м	25,3
Висота борту, м	15
Осідання по літню вантажну марку, м	11
Дедвейт, т	28750
Потужність головного двигуна, кВт	9000
Швидкість, вуз	14,6

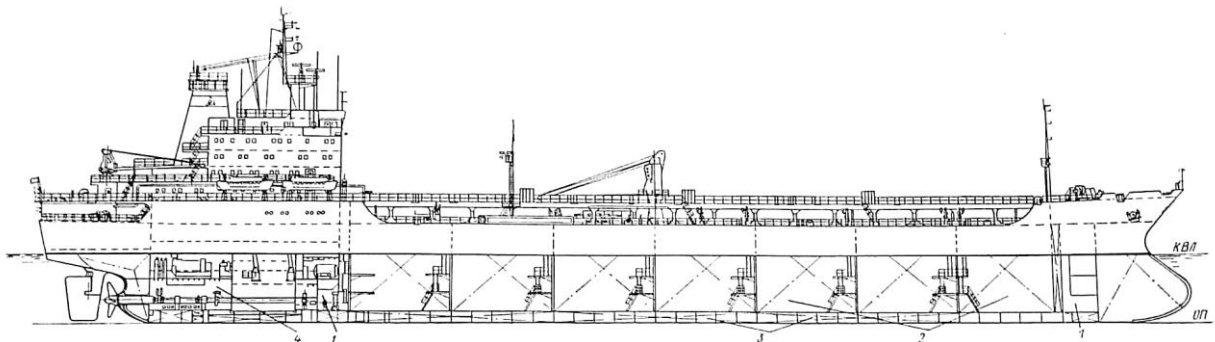


Рисунок 1.1 Боковий вид танкера: 1 – насосне відділення; 2 – вантажні танки; 3 – баластні танки; 4 – машинно-котельне відділення (МКВ).

Непотоплюваність і аварійна остійність танкера у всіх експлуатаційних випадках завантаження забезпечена при заповненні двох суміжних відсіків, окрім машинного відділення.

					ПННІ НУК 131.61.22.06 ПЗ	Лист
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

Корпус судна виготовлений з низьколегованої вуглецевої сталі. Верхня палуба у вантажній частині, в МКВ, подвійне дно у вантажних танках і борт в районі МКВ набрані по подовжній системі; поперечна система застосована в конструкціях верхньої палуби, бортів в кінцівках і в районі вантажних танків. Незвичність системи набору борту вантажної частини продиктована міркуваннями поєднання стрінгерів з перехідними майданчиками для обслуговування конструкцій баластних танків, а також отримання економічного ефекту при складанні корпусу.

Танкова частина розділена подовжньою і шістьма поперечними перегородками на 14 вантажних танків. Подовжня перегородка в діаметральній площині має коробчасті гофри, поперечні переборки - плоскі, з набором. Поєднання гофрованої конструкції з гладкими подвійними бортами і днищем дозволило полегшити забезпечення необхідної якості миття танків.

Вантажна система виконана по лінійній схемі у вигляді окремих трубопроводів для кожного з чотирьох сортів вантажу, має патрубки в танках кожної групи. Групи танків обслуговуються окремими горизонтальними відцентровими насосами з електроприводом, подачею по $700 \text{ м}^3/\text{год}$ при тиску 980 кПа. Передбачена можливість видачі кожного сорту вантажу будь-яким насосом. Інтенсивність закритого прийому кожного з чотирьох сортів вантажу складає $1250 \text{ м}^3/\text{год}$. Труби вантажної системи прокладені у вантажних танках і на верхній палубі. Прийом і видача вантажу на обидва борти здійснюється через насосне відділення і встановлений на палубі, в середній частині, колектор. У вантажному насосному відділенні розміщені чотири вантажні насоси і два поршневі парові насоси для зачистки танків. В якості приводу вантажних насосів використовуються встановлені в МКВ електродвигуни потужністю 250 кВт при частоті обертання 1500 хв^{-1} , з системою регулювання частоти обертання.

Баластна система обслуговується двома вертикальними відцентровими насосами, що розташовані в МКВ. Заповнення баластних цистерн до рівня ватерлінії відбувається самопливом.

					ПННІ НУК 131.61.22.06 ПЗ	Лист
						9
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Головний двигун судна – дизель типу 7ДКРН 74/160-3 потужністю 9000 кВт – обертає бронзовий чотирьох лопатевий гвинт фіксованого кроку діаметром 5,5 м. Допоміжна енергетична установка складається з двох автоматизованих дизель-генераторів ДГРА 345/500-1 ГОСТ 22246-84 потужністю по 345 кВт, одного турбогенератора утилізації ТГУ500 потужністю 500 кВт, одного аварійного дизель-генератора АДГР200/1500 потужністю 200 кВт, двох автоматизованих котло-генераторів КАВ 6,3/16 і одного КУП 660/7-1, що утилізує тепло відпрацьованих газів головного двигуна. Комплектація енергетичної установки вибрана з урахуванням забезпечення максимальної економії палива:

- встановлені котел утилізації, що працює на теплі відпрацьованих газів головного двигуна, і турбогенератор утилізації;
- для заповнення вантажних танків служать відпрацьовані гази допоміжних котлів;
- передбачена можливість використання пари котлів, що працюють в режимі інертизації (запобігання пожеж), в турбогенераторі утилізації;
- застосування електроприводів вантажних насосів підвищило економічність енергетичного комплексу в порівнянні з використанням пари.

Управління судновою енергетичною установкою виконується з ЦПК, розміщеного в окремому шумоізовьованому приміщенні з автономним кондиціонуванням, з якого забезпечено огляд машинного відділення. Об'єм автоматизації процесів управління і контролю забезпечує роботу механізмів, розташованих в МКВ, без постійного спостереження. Обслуговування енергетичної установки відбувається на ходу вахтовим механіком з ЦПК і без постійної вахти на стоянці за допомогою комплексу «Затока-М». До його складу входять наступні системи: дистанційного автоматизованого контролю і управління енергетичною і електричною установкою, контролю і управління допоміжними механізмами і локальними системами автоматики, обслуговуючими головний двигун, контролю і управління загально судновими системами, а також разовими операціями.

					ПННІ НУК 131.61.22.06 ПЗ	Лист
						10
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В середній частині судна для роботи зі шлангами і трапом встановлено електрогідравлічний кран вантажопідйомністю 12,5 т, а на корм – електричний кран вантажопідйомністю 3,2 т. Останній призначений для спуску і підйому робочого плоту і шлюпки, трапа, вантаження провізії, ЗІПа в МКВ і подачі шлангів до кормового вантажного колектора.

Житлові приміщення розміщені в надбудові і складаються з однієї блок-каюти підвищеної комфортабельності (кабінет, спальня, санвузол з ванною), семи блок-кают (кабінет, спальня, санвузол), тридцяти одномісних кают і двох двомісних кают для практикантів; всі каюти обладнані санвузлами. Житлові і службові приміщення обладнані системою кондиціонування повітря, обслуговуваної трьома кондиціонерами «Бриз-56».

Танкер оснащений засобами електрорадіонавігації, радіозв'язку і радіолокації, що забезпечує безпеку плавання за будь-яких метеорологічних умов. Для визначення координат судна по сигналах космічних апаратів встановлений навігаційний комплекс.

Паливна система судна використовується для прийому, зберігання, очищення, підігріву і подачі палива до головного і допоміжних двигунів внутрішнього згорання, парогенераторам, а також для передачі його на берег або на інші судна. У складі СДУ є в наявності дві паливні системи: важкого і легкого палива, в які входять танки для зберігання важкого і дизельного палив, трубопроводи і насоси для переміщення палива, сепаратори очищення палива, підігрівачі важкого палива, витратна цистерна.

1.2. Опис конструкції базового двигуна

Автоматизований дизель-генератор ДГРА 345/500-1 ГОСТ 22246-84, що використовується в якості допоміжного двигуна, складається з дизеля 6ЧН 25/34 і синхронного генератора перемінного струму типу ГМС 13-41-12, змонтованих на сумісній рамі. Рама дизель-генератора зварної конструкції.

					ПННІ НУК 131.61.22.06 ПЗ	Лист
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

Дизельний двигун 6ЧН25/34 – чотиритактний, тронковий, простої дії, з газотурбінним наддувом, нереверсивний і відноситься до складу середньо-оборотних двигунів. Дизель призначений для використання в якості приводу генератора.

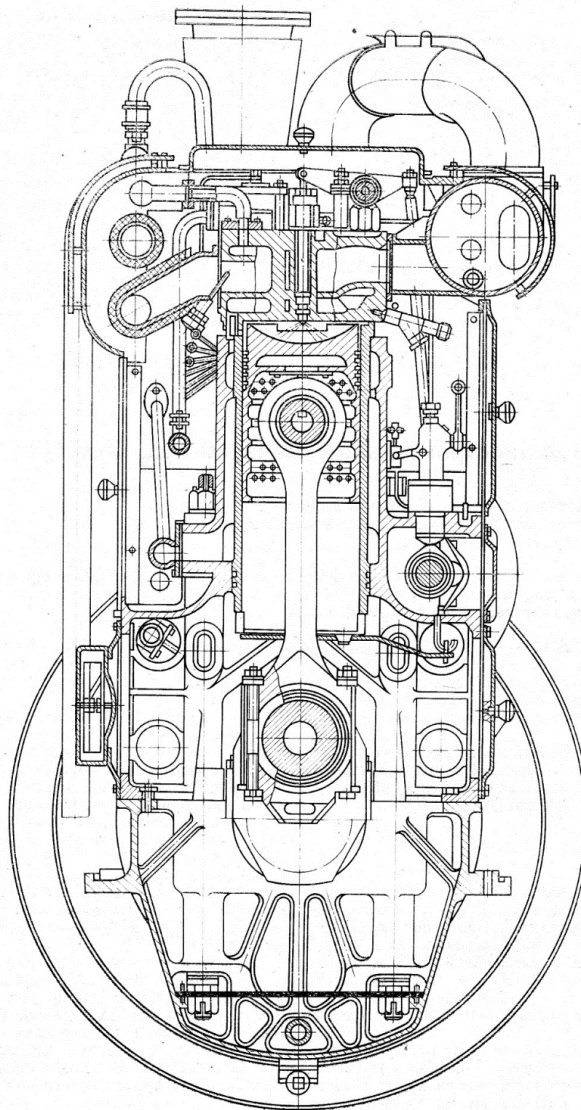


Рисунок 1.1 – Поперечний розріз двигуна 6ЧН25/34

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

					ПННІ НУК 131.61.22.06 ПЗ	Лист
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

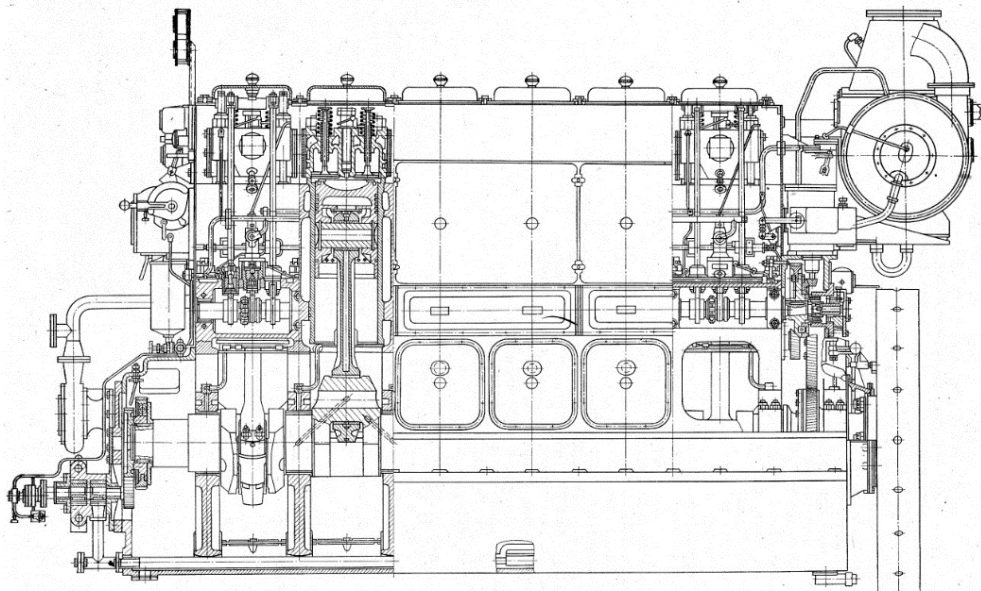


Рисунок 1.2 – Поздовжній розріз двигуна 6CH25/34.

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

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

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

В порожнині під полицею розташований підшипник розподільчого валу, один з яких (перший від маховика) упорний. Порожнина закрита щитами. Для

					ПННІ НУК 131.61.22.06 ПЗ	Лист
						13
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

доступу до механізму руху і рамових підшипників в нижній частині блоку з обох сторін є люки, що зачинені кришками, на яких встановлені запобіжні клапани.

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

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

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

Кришка робочого циліндру виготовлена з чавуну, окрема для кожного циліндру, кріпиться до блок-картеру чотирма шпильками. На днищі кришки є бурт, який входить в проточку на втулці робочого циліндру. Під бурт для ущільнення камери згоряння встановлюється прокладка з відпаленої червоної міді. Вибором товщини прокладки встановлюється висота камери згоряння. На стояках встановлена вісь, на якій розташовані два коромисла для приводу клапанів.

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

					ПННІ НУК 131.61.22.06 ПЗ	Лист
						14
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

і індикаторний кран, які встановлені на спеціальному фланці.

Колінчастий вал сталевий, суцільно кований, має сім рамових і шість шатунних шийок, при цьому остання рамова шийка не використовується. Кривошипи дизеля 6ЧН 25/34 розташовані по відношенню один до одного під кутом 90°. Мاستило з канавок рамових підшипників поступає до шатунних підшипників по каналах, які з'єднують рамові шийки з шатунами, минаючи внутрішні порожнини шийок. На передньому кінці валу встановлені шестерні приводу масляного і водяного насосів. Маховик переднього торця за допомогою шпонки з'єднаний з колінчастим валом і утримується від осьового зміщення упорним кільцем з одного боку і буртом колінчастого валу з іншого. На задньому кінці валу є опорна кільцева поверхня на яку насаджена шестерня колінчастого валу, яка призначена для приводу розподільного валу через проміжну пару шестерень.

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

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

Паливний насос здійснює стиснення палива до тиску уприскування. Уприскування палива відбувається через форсунку в камеру згорання циліндра дизеля. Кожен паливний насос високого тиску золотникового типу. У корпус насоса вставлена втулка з притертим до неї плунжером. Втулка і плунжер є прецизійною парою.

					ПННІ НУК 131.61.22.06 ПЗ	Лист
						15
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

Паливна система дизеля виконана таким чином, що дозволяє працювати на легкому дизельному паливі із змістом сірки не більш 0,5%. Для ліквідації застійних зон система підведення палива до паливних насосів високого тиску виконана проточною. Дизельне паливо з витратного бака паливопідкачним насосом через паливний фільтр тонкого очищення подається в систему дизеля до насосів високого тиску. Паливні насоси високого тиску, відповідно до порядку роботи циліндрів, по трубках високого тиску подають дозовану кількість палива у форсунки. Форсунки, досягши тиску палива в підгольчатому просторі розпилювача $270+11 \text{ кгс/см}^2$ уприскують паливо в циліндри дизеля. Форсунки – охолоджувані. Надлишки палива після кожного насоса ВТ збираються в колектор відведення палива і по трубопроводу поступають на охолодження форсунок. Нагріте паливо після форсунок по колектору через редукційний клапан зливається у витратний бак, де відбувається його охолодження.

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

Витоки палива з форсунок по трубках поступають в колектор відвідний і по трубопроводу зливаються в бак палива. Для підтримки в паливній системі надмірного тиску в колекторі відведення палива після охолодження форсунок у витратний паливний бак встановлений редукційний клапан, відрегульований на тиск $1,0\pm 0,4 \text{ кгс/см}^2$ по манометру на щиті приладів.

Для оберігання трубопроводів від руйнування на паливному насосі встановлений редукційний клапан, відрегульований на тиск $3,0\pm 0,2 \text{ кгс/см}^2$ по манометру на щиті приладів.

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

					ПННІ НУК 131.61.22.06 ПЗ	Лист
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

деталей і вузлів.

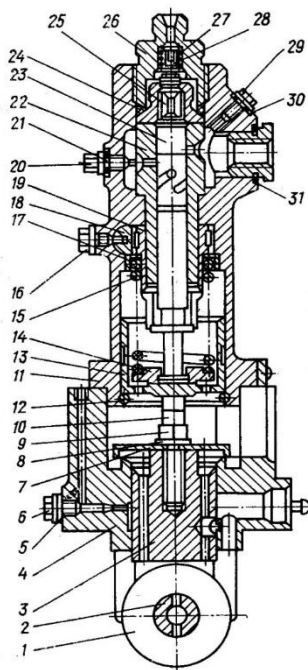


Рисунок 1.7 – Паливний насос з приводом

1-ролик; 2-вісь; 3-повзун; 4, 11-корпус; 5, 21, 30, 31-прокладка; 6, 29-пробка; 7-паливовітражач; 8-шайба; 10-штовхач; 13-стакан; 14-тарілка плунжера; 15-пружина; 16, 20-болт; 17-тарілка верхня; 18-рейка; 19-шестерня; 22-втулка плунжера; 23-плунжер; кільце ущільнюоче; 25-клапан нагнітальний; 26-штуцер нажимний; 27-пружина; 28-обмежувач.

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

З метою форсування на дизелі застосовано турбонаддув з проміжним охолодженням наддувочного повітря.

					ПННІ НУК 131.61.22.06 ПЗ	Лист
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

РОЗДІЛ 2. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ

2.1 Вимоги до проектованого двигуна

Метою проектування є перехід двигуна з легких дизельних на важке паливо - флотський мазут Ф-5. Такі зміни дозволяють прогнозувати змінення ефективних та індикаторних показників двигуна, що проектується.

В якості прототипу обрано дизельний двигун 6ЧН 25/34 з потужністю 345 кВт, що працює на легкому дизельному паливі.

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

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

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

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

					ПННІ НУК 131.61.22.06 ПЗ	Лист
						18
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

оцінюють реальні умови протікання робочих процесів в двигуні.

Значення параметрів для розрахунку робочого процесу обираємо відповідно даних, що наводяться в довідковій літературі [10] та [2].

Проектований двигун має частоту обертання 500 хв^{-1} , тобто є середньо обертовим двигуном (СОД), тому обираємо діапазони даних для СОД.

З метою одержання високих ефективних параметрів двигуна застосовуємо середній газотурбінний наддув з тиском наддувочного повітря $P_B = 0,165 \text{ МПа}$.

Коефіцієнт надлишку повітря $\alpha = 1,6 \dots 2,2$ [10, с.148].

Приймаємо $\alpha = 2,1$.

Температуру T_a та тиск P_a навколишнього середовища приймаємо для нормальних умов. Приймаємо $T_a = 293 \text{ К}$, $P_a = 0,103 \text{ МПа}$

Підігрів свіжого заряду $\Delta T = 10 \dots 20 \text{ К}$ [10, с.142].

Приймаємо $\Delta T = 20$.

Тиск залишкових газів $P_r = \varepsilon_p P_B = (0,88 - 0,96) P_B$ [2, с.175].

Приймаємо $\varepsilon_p = 0,9$.

Температура залишкових газів $T_r = 700 \dots 800 \text{ К}$ [10, с.142].

Приймаємо $T_r = 790 \text{ К}$.

Ступінь підвищення тиску $\lambda = 1,3 - 1,6$ [10] с.155. Приймаємо $\lambda = 1,5$.

Коефіцієнт використання теплоти в точці „z” $\xi_z = 0,75 \dots 0,9$ [10, с.154].

Приймаємо $\xi_z = 0,795$.

Коефіцієнт повноти індикаторної діаграми $\xi = 0,86 \dots 0,98$ [10, с.154].

Приймаємо $\xi = 0,95$.

Показник політропи стиску у відцентровому нагнітачі $n_k = 1,6 \dots 1,8$ [2, с.177]. Приймаємо $n_k = 1,8$.

Показник політропи стиску $n_1 = 1,32 \dots 1,42$ [10, с.143].

Приймаємо $n_1 = 1,37$.

Показник політропи розширення $n_2 = 1,18 \dots 1,28$ [10, с.158].

Приймаємо $n_2 = 1,19$.

					ПННІ НУК 131.61.22.06 ПЗ	Лист
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

2.2 Розрахунок робочого процесу двигуна

Ефективна потужність -	$P_e =$	350	кВт
Частота обертання колінчастого валу -	$n =$	500	хв ⁻¹
Ступінь стиску -	$\varepsilon =$	13,5	
Число циліндрів -	$i =$	6	
Тиск наддуву -	$P_B =$	0,165	МПа
Діаметр циліндра -	$d_{пп} =$	0,25	м
Хід поршня -	$S_{пп} =$	0,34	м

Вихідні дані теплового розрахунку

Коефіцієнт надлишку повітря -	$\alpha =$	2,1	
Тиск навколишнього середовища -	$P_a =$	0,101	МПа
Температура навколишнього середовища -	$T_a =$	293	К
Підігрів свіжого заряду -	$\Delta T =$	20	К
Тиск залишкових газів -	$P_r =$	0,149	МПа
Температура залишкових газів -	$T_r =$	790	К
Ступінь підвищення тиску -	$\lambda =$	1,5	
Коефіцієнт використання теплоти в точці "Z" -	$\xi_z =$	0,795	
Коефіцієнт повноти індикаторної діаграми -	$\xi =$	0,95	

Паливо - флотський мазут Ф-5 ДСТУ 10585-99

Середній елементарний склад палива

C = 0,86 H = 0,12 O = 0,01 S = 0,01

Найнижча теплота згорання палива

$Q_H = 41300$ кДж/кг

					ПННІ НУК 131.61.22.06 ПЗ	Лист
						20
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Параметри робочого тіла

Теоретично необхідна кількість повітря для згоряння 1кг. палива

$$L_0 = \frac{1}{0,21} \times \left(\frac{C}{12} + \frac{H}{4} - \frac{O}{32} \right) = \frac{1}{0,21} \times \left(\frac{0,86}{12} + \frac{0,12}{4} - \frac{0,01}{32} \right) = 0,483 \text{ кмоль/кг}$$

$$l_0 = 28,95 \times 0,483 = 13,98 \text{ кг}$$

Кількість свіжого заряду

$$M_1 = \alpha \times L_0 = 2,1 \times 0,483 = 1,014 \text{ кмоль/кг}$$

Кількість окремих компонентів продуктів згоряння

Кількість CO₂: $M_{CO_2} = \frac{C}{12} = \frac{0,86}{12} = 0,072 \text{ кмоль/кг}$

Кількість H₂O: $M_{H_2O} = \frac{H}{2} = \frac{0,12}{2} = 0,06 \text{ кмоль/кг}$

Кількість O₂:

$$M_{O_2} = 0,21 \times (\alpha - 1) \times L_0 = 0,021 \times 2,1 - 1 \times 0,483 = 0,112 \text{ кмоль/кг}$$

Кількість N₂:

$$M_{N_2} = 0,79 \times \alpha \times L_0 = 0,79 \times 2,1 \times 0,483 = 0,801 \text{ кмоль/кг}$$

Загальна кількість продуктів згоряння.

$$M_2 = M_{CO_2} + M_{H_2O} + M_{O_2} + M_{N_2} = 0,072 + 0,06 + 0,112 + 0,801 =$$

$$= 1,045 \text{ кмоль/кг}$$

Параметри процесу газообміну

Температура повітря після нагнітача

$$T_e = T_a \times \left(\frac{P_e}{P_a} \right)^{\frac{n_k - 1}{n_k}} = 293 \times \left(\frac{0,165}{0,101} \right)^{\frac{1,8 - 1}{1,8}} = 366 \text{ К}$$

					ПННІ НУК 131.61.22.06 ПЗ	Лист
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

$n_k = 1,8$ показник політропи стиску повітря в нагнітачі

Тиск в кінці впуску

$$P_d = (0,9 - 0,95) \times P_e = 0,9 \times 0,165 = 0,149 \text{ МПа}$$

де $\Delta T_1 = (30 - 50^0)$ ступінь охолодження повітря.

$$\Delta T_1 = 40 \text{ К}$$

Коефіцієнт залишкових газів

$$\gamma_r = \frac{T_e - \Delta T_1 + \Delta T}{T_r} \times \frac{P_r}{\varepsilon \times P_d - P_r} =$$
$$= \frac{366 - 40 + 20}{790} \times \frac{0,1485}{13,5 \times 0,149 - 0,1485} = 0,04$$

Температура в кінці впуску

$$T_d = \frac{T_e - \Delta T_1 + \Delta T + \gamma_r \times T_r}{1 + \gamma_r} = \frac{366 - 40 + 20 + 0,04 \times 790}{1 + 0,04} =$$
$$= 361 \text{ К}$$

Коефіцієнт наповнення

$$\Phi'_c = \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \times \frac{P_d}{P_e} \times \frac{T_e - \Delta T_1}{T_d(1 + \gamma_r)} = \frac{13,5}{13,5 - 1} \times \frac{0,149}{0,165} \times \frac{366 - 40}{361 \times (1 + 0,04)} = 0,85$$

Густина заряду на впуску

$$\rho_e = \frac{P_e \times 10^6}{R_{II} \times (T_e - \Delta T_1)} = \frac{0,165}{287} \times \left(\frac{10^6}{366 - 40} \right) = 1,763 \text{ кг/м}^3$$

$R_{II} = 287 \text{ Дж/кг} \times \text{К}$ - універсальна газова постійна для повітря

$$n_1 = 1,41 - \frac{110}{n} \quad \text{Параметри процесу стиску}$$

Показник політропи стиску

Вибираємо значення

$$n_1 = 1,37$$

					ПННІ НУК 131.61.22.06 ПЗ	Лист
						22
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тиск в кінці стиску

$$P_c = P_d \times \varepsilon^{n_1} = 0,1485 \times 13,5^{1,37} = 5,252 \text{ МПа}$$

Температура в кінці стиску

$$T_c = T_d \times \varepsilon^{n_1 - 1} = 361 \times 13,5^{1,37 - 1} = 946 \text{ К}$$

Середня мольна теплоємність повітря

$$mC v' = 1988 + 0,002638 \times T_c = 19,88 + 0,002638 \times 946 = 2,3751 \text{ КДж / моль} \cdot \text{К}$$

Параметри процесу згоряння

Теоретичний коефіцієнт молекулярної зміни

$$\beta_0 = \frac{M_2}{M_1} = \frac{1,04454}{1,0143} = 1,030$$

Дійсний коефіцієнт молекулярної зміни

$$\beta = \frac{\beta_0 + \gamma_r}{1 + \gamma_r} = \frac{1,02981 + 0,04}{1 + 0,04} = 1,029$$

Емпіричні формули середніх мольних теплоємностей окремих

газів при сталому об'ємі.

для O_2 : $mC v''_{O_2} = 23,3 + 0,00155 \times T_z$

для N_2 : $mC v''_{N_2} = 21,554 + 0,001457 \times T_z$

для CO_2 : $mC v''_{CO_2} = 38,609 + 0,003349 \times T_z$

для H_2O : $mC v''_{H_2O} = 25,459 + 0,004438 \times T_z$

Середня мольна теплоємність продуктів згоряння при сталому об'ємі

$$mC v'' = \frac{1}{M_2} \left[M_{CO_2} \times (mC v''_{CO_2}) + M_{H_2O} \times (mC v''_{H_2O}) + \right. \\ \left. + M_{O_2} \times (mC v''_{O_2}) + M_{N_2} \times (mC v''_{N_2}) \right]$$

					ПННІ НУК 131.61.22.06 ПЗ	Лист
						23
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$mC v'' = \frac{1}{1,044537} \left[0,07167 \times (38,609 + 0,003349 \times T_Z) + \right. \\ \left. + 0,06 \times (25,459 + 0,004438 \times T_Z) + 0,111573 \times (13,3 + 0,00155 \times T_Z) + \right. \\ \left. + 0,8013 \times (11,554 + 0,001457 \times T_Z) \right] \frac{KДж}{Kмоль} \times K$$

Після підстановки одержим рівняння

$$mC v'' = a + b \times T_Z = 23,13497 + 0,001768 \times T_Z, \frac{KДж}{Kмоль} \times K$$

$$\text{де } a = 23,13497$$

$$b = 0,001768$$

Середня мольна теплоємність продуктів згоряння при сталому тиску

$$mC''p = mC v'' + 8,134 = (23,135 + 0,001768 \times T_Z) + 8,134, \frac{KДж}{Kмоль} \times K$$

Після підстановки одержим рівняння

$$mC''p = a + b \times T_Z = 31,26897 + 0,001768 \times T_Z, \frac{KДж}{Kмоль} \times K$$

$$\text{де } a = 31,26897$$

$$b = 0,001768$$

Максимальний тиск згоряння

$$P_{\max} = \lambda \times P_c = 1,5 \times 5,252 = 7,877 \text{ МПа}$$

Максимальна температура процесу згоряння

$$\frac{\xi_Z \times Q_H}{M_1 \times (1 + \gamma_r)} + (mC'v + 8,134 \times \lambda) \times T_C = \beta (mC''p) \times T_Z$$

$$\frac{0,795 \times 41300}{1,014(1 + 0,035042)} + (22,37511 + 8,134 \times 1,5) \times T_C =$$

$$= 1,0288 (31,26897 + 0,00177 \times T_Z) \times T_Z$$

Після підстановки одержим квадратне рівняння

$$A \times T_Z^2 + B \times T_Z - C = 0$$

					ПННІ НУК 131.61.22.06 ПЗ	Лист
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

$$0,0018 \times T_z^2 + 32,1696 \times T_z - 64066,17 = 0$$

де $A = 0,001819$

$B = 32,17$

$C = 64066,17$

Звідки:

$$T_z = \frac{-B + \sqrt{B^2 + 4 \times A \times C}}{2 \times A} = \frac{-32,170 + \sqrt{32,17^2 + 4 \times 0,0018 \times 64066,2}}{2 \times 0,0018}$$

$$= 1806,91 \text{ K}$$

Ступінь поереднього розширення

$$\rho = \frac{\beta \times T_z}{\lambda \times T_c} = \frac{1,0288 \times 1807}{1,5 \times 946} = 1,310$$

Параметри процесу розширення

Ступінь наступного розширення

$$\delta = \frac{\varepsilon}{\rho} = \frac{13,5}{1,310} = 10,303$$

Середній показник політропи розширення

Вибираємо значення

$$n_2 = 1,19$$

Тиск в кінці розширення

$$P_{\epsilon} = \frac{P_{\max}}{\delta^{n_2}} = \frac{7,877}{10,303^{1,2}} = 0,491 \text{ МПа}$$

Температура в кінці розширення

$$T_{\epsilon} = \frac{T_z}{\delta^{n_2-1}} = \frac{1807}{10,303^{1,19-1}} = 1160 \text{ K}$$

					ПННІ НУК 131.61.22.06 ПЗ	Лист
						25
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Температура залишкових газів

$$T_r = \frac{T_B}{\sqrt[3]{\frac{P_B}{P_r}}} = \sqrt[3]{\frac{1160}{0,491}} = 779 \text{ K}$$

Перевірка:

$$\frac{|T_r^3 - T_r|}{T_r^3} \times 100 \% = \frac{|790 - 779|}{790} \times 100\% = 1,4 \%$$

Індикаторні показники робочого тіла

Середній теоретичний індикаторний тиск

$$\begin{aligned} P'_{mi} &= \frac{P_C}{\varepsilon - 1} \times \left[\lambda \times (\rho - 1) + \frac{\lambda \times \rho}{n_2 - 1} \times \left(1 - \frac{1}{\delta^{n_2 - 1}} \right) - \frac{1}{n_1 - 1} \times \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_1 - 1}} \right) \right] = \\ &= \frac{5,252}{13,5 - 1} \times \left[1,5 \times (1,310 - 1) + \frac{1,5 \times 1,310}{1,19 - 1} \times \right. \\ &\times \left. \left(1 - \frac{1}{10,303^{1,19 - 1}} \right) - \frac{1}{1,37 - 1} \times \left(1 - \frac{1}{13,5^{1,37 - 1}} \right) \right] = \\ &= 1,049 \text{ МПа} \end{aligned}$$

Дійсний середній індикаторний тиск

$$P_{mi} = \xi \times P'_{mi} = 0,95 \times 1,049 = 0,997 \text{ МПа}$$

Індикаторний ККД

$$\eta_i = \frac{P_{mi} \times l_0 \times \alpha}{Q_H \times \rho_g \times \Phi_c \times 10^{-3}} = \frac{0,997 \times 14,33 \times 2,1}{41300 \times 1,763 \times 0,85 \times 10^{-3}} = 0,486$$

Питома індикаторна витрата палива

$$g_i = \frac{3600}{Q_H \times \eta_i} = \frac{3600}{41300 \times 0,486} = 0,179 \text{ кг/кВт год}$$

					ПННІ НУК 131.61.22.06 ПЗ	Лист
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

Ефективні показники робочого циклу

Середній тиск механічних втрат

$$P_M = 0,089 + 0,0118 \times V_{п.ср} = 0,089 + 0,0118 \times 5,67 = 0,156 \text{ МПа}$$

Середня швидкість поршня

$$V_{п.ср.} = \frac{S_{пп.} \times n}{30} = \frac{0,34 \times 500}{30} = 5,67 \text{ м/с}$$

$$P_{me} = P_{mi} - P_M = 0,997 - 0,156 = 0,841 \text{ МПа}$$

Механічний ККД

$$\eta_M = P_{me} / P_{mi} = 0,841 / 0,997 = 0,844$$

Ефективний ККД

$$\eta_e = \eta_i \times \eta_M = 0,486 \times 0,844 = 0,410$$

Питома ефективна витрата палива

$$\epsilon_e = \frac{3600}{Q_H \times \eta_e} = \frac{3600}{41300 \times 0,410} = 0,213 \text{ кг/кВт год}$$

Годинна витрата палива

$$B = \epsilon_e \times P_e = 0,213 \times 350 = 74,443 \text{ кг/год}$$

Основні розміри циліндра і двигуна

Літраж двигуна.

$$V_{st} = 30 \times Z \times \frac{P_e}{P_{me} \times n} = 30 \times 4 \times \frac{350}{0,841 \times 500} = 99,88 \text{ л}$$

Z=4 - коефіцієнт тактності.

Робочій об'єм циліндра

$$V_s = \frac{V_{st}}{i} = \frac{99,8803}{6} = 16,65 \text{ л}$$

					ПННІ НУК 131.61.22.06 ПЗ	Лист
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

Діаметр циліндра

$$d = 100 \times \sqrt[3]{\frac{4 \times V_s}{\pi \times m}} = 100 \times \sqrt[3]{\frac{4 \times 16,65}{3,14 \times 1,360}} = 249,8 \text{ мм}$$

$$m = \frac{S_{\text{пп}}}{d_{\text{пп}}} = \frac{0,34}{0,25} = 1,360$$

Хід поршня

$$S = m \times d = 1,360 \times 249,8 = 339,8 \text{ мм}$$

Уточненні розміри циліндра і двигуна

Діаметр циліндра

$$d = 250 \text{ мм}$$

Хід поршня

$$S = 340 \text{ мм}$$

Літраж двигуна

$$V_{st} = \frac{\pi \times d^2 \times S \times i}{4 \times 10^6} = \frac{3,14 \times 250^2 \times 340 \times 6}{4 \times 10^6} = 100,09 \text{ л}$$

Ефективна потужність двигуна

$$P_{ep} = \frac{P_{me} \times V_{st} \times n}{30 \times Z} = \frac{0,841 \times 100,09 \times 500}{30 \times 4} = 350,7 \text{ кВт}$$

Отримана величина P_{ep} відрізняється від заданої на:

$$\Delta P_e = \frac{P_{ep} - P_e}{P_{exp}} \times 100\% = \frac{350,7 - 350}{350,3} \times 100\% = 0,21 \%$$

$$P_{exp} = \frac{P_{ep} + P_e}{2} = \frac{350,7 + 350}{2} = 350,3 \text{ кВт}$$

З урахуванням ККД генератора потужність на вихідних клеммах:

$$P_{вих} = P_{ep} \cdot \eta_p = 350,7 \times 0,95 = 333,2 \text{ кВт}$$

		.			ПННІ НУК 131.61.22.06 ПЗ	Лист
						28
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.3 Розрахунок теплового балансу дизельного двигуна

Ефективна потужність:	$P_e = 350,7$ кВт;
частота обертання колінвалу:	$n = 500$ хв ⁻¹ ;
діаметр циліндру:	$d = 250$ мм;
хід поршня:	$S = 340$ мм;
кількість циліндрів:	$i = 6$
коефіцієнт тактності:	$Z = 4$
нижча теплота згорання палива:	$Q_H = 41300$ кДж/кг;
годинна витрата пального:	$B_T = 74,443$ кг/год;
індикаторний ККД:	$\eta = 0,486$
ефективний ККД:	$\eta = 0,410$
кількість свіжого заряду	$M_1 = 1,014$ кмоль/кг;
загальна кількість продуктів згорання	$M_T = 1,045$ кмоль/кг;
температура залишкових газів	$T_r = 790$ К;
температура на початку стиску	$T_d = 361$ К;
коефіцієнт надлишку повітря	$\alpha = 2,1$
середній індикаторний тиск	$P_{mi} = 0,997$ МПа;

Рівняння теплового балансу

Загальна кількість теплоти, введеної в двигун з паливом

$$Q_{II} = Q_e + Q_B + Q_T + Q_M + Q_{н.б.}$$

де Q_e - теплота, еквівалентна ефективній роботі;

Q_B - теплота, яка відводиться охолоджувальною рідиною;

Q_T - теплота, яка виноситься випускними газами;

Q_M - теплота, яка відводиться маслом;

$Q_{н.в.}$ - невраховані теплові втрати.

Теплота, яка підводиться в циліндр двигуна з паливом

$$Q_{II} = B_r \cdot Q_H / 3.6 = 74,443 \quad 42500 / 3,6 = 854030 \text{ Дж/с}$$

у відсотковому відношенні q_{II} приймаємо за 100%

Теплота, еквівалентна ефективній роботі двигуна

$$Q_e = 1000 \cdot P_e = 1000 \times 350,7 = 350718 \text{ Дж/с}$$

у відсотковому відношенні

$$q = Q_e / Q_{II} \cdot 100 \% = \frac{350718}{854030} \times 100 \% = 41,07 \%$$

Перевірка: $Q'_e = Q_{II} \cdot \eta_e = 854030 \times 0,410 = 350000 \text{ Дж/с}$

Вираховуємо похибку

$$\Delta = (Q_e - Q'_e) / Q_e \cdot 100 \% = \frac{350718 - 350000}{350718} \times 100 \% = 0,20 \%$$

Похибка не перевищує 1%.

Теплота, яка відводиться охолоджувальною рідиною

$$Q_B = Q_w + Q_{T.II} + Q_{в.н.}$$

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

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

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

					ПННІ НУК 131.61.22.06 ПЗ	Лист
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

Теплообмін між робочим тілом і стінками циліндра

$$Q_w = (-W_{\text{нап}} + W_{CT} + W_{T.P.} + W_{\text{вип}}) \cdot Q_n = (-0 + 0 + 0,12 + 0,02) \times 854030 = 119564 \text{ Дж/с}$$

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

З експериментальних даних:

$$W_{\text{нап.}} = 0 \quad W_{\text{ст.}} = 0 \quad W_{\text{г.р.}} = 0,09-0,16 \quad W_{\text{вип}} = 0,01-0,05$$

Теплота, еквівалентна роботі на тертя поршня по гільзі циліндра

Середній тиск механічних втрат в механізмах двигуна

$$P_{\text{мд}} = (a + v \cdot C_m) \cdot 10^3 = (0,09 + 0,012 \times 5,67) \times 10^3 = 158 \text{ кПа}$$

де $a=0,09$ $v=0,012$ - коефіцієнти для визначення середнього тиску механічних втрат;

$$C_m = S \cdot n / 30 = 0,34 \times 500 / 30 = 5,67 \text{ м/с} - \text{середня швидкість}$$

Середній тиск тертя поршня

$$P_{\text{ср.т.}} = 0,6 \cdot P_{\text{мд}} = 0,6 \times 158 = 95 \text{ кПа}$$

Потужність тертя поршня

$$P_n = P_{CTT} \cdot V_s \cdot n \cdot i / (30 \cdot Z) = 95 \times 0,0167 \times 500 \times 6 / (30 \times 4) = 39,5 \text{ кВт}$$

де V_s - Робочій об'єм циліндру;

$$V_s = \pi d^2 \cdot S / 4 = 3,14 \times 0,25^2 \times 0,34 / 4 = 0,0167 \text{ м}^3$$

Теплота, еквівалентна роботі тертя поршня

$$Q_{T.П.} = 1000 \cdot P_{П.} = 1000 \times 39,5 = 39520 \text{ Дж/с}$$

Теплота, еквівалентна роботі на привід водяного насосу

					ПННІ НУК 131.61.22.06 ПЗ	Лист
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

Визначаємо витрату води по сумі теплот

$$Q'_B = Q_W + Q_{Г.П.} = 119564 + 39520 = 159084 \text{ Дж/с}$$

тоді витрата охолоджуючої рідини

$$V_B = \frac{Q'_B \cdot 10^{-3} \cdot K}{\rho_{\epsilon} \cdot C_{тв} \cdot \Delta T_{\epsilon}} = \frac{159084 \times 10^{-3} \times 1,4}{1000 \times 4,19 \times 8} = 0,0066 \text{ м}^3/\text{с}$$

де: $K=1,2-1,5$ коефіцієнт запасу;

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

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

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

Потужність, яка використовується на привід водяного насосу

$$P_{\epsilon.н.} = V_{\epsilon} \cdot \Delta P_{\epsilon} / \eta_{\epsilon.н.} = 0,0066 \times 98 / 0,85 = 0,766 \text{ кВт}$$

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

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

$$\text{Тоді } Q_{\text{в.н.}} = 1000 \times P_{\epsilon.н.} = 1000 \times 0,766 = 766 \text{ Дж/с}$$

Загальна теплота, яка відводиться охолоджувальною рідиною

$$Q_{\epsilon} = Q_W + Q_{Г.П.} + Q_{\epsilon.н.} = 119564 + 39520 + 766 = 159850 \text{ Дж/с}$$

що складає у відсотковому відношенні:

$$q_{\epsilon} = Q_{\epsilon} / Q_{П.} \cdot 100\% = 159850 / 0 \times 100\% = 18,72 \%$$

Теплота, яка виноситься випускними газами

$$Q_{Г.} = \frac{B_r}{3,6} \left[M_2 \cdot (mC_p'')_{t_0}^2 \cdot t_r - M_1 \cdot (mC_p)_t^d \cdot t_d \right] = \frac{74,443}{3,6} \times \left[1,0445 \times 32,53 \times 517 - 1,0143 \times 29,33 \times 88 \right] = 298267 \text{ Дж/с}$$

$m C_p'' = 32,53 \text{ кДж/кмоль К}$ - ізобарна теплоємність продуктів згорання;

$m C_p = 29,33 \text{ кДж/кмоль К}$ - ізобарна теплоємність свіжого заряду.

					ПННІ НУК 131.61.22.06 ПЗ	Лист
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

$t_r = T_r - 273^0$ $t_r = 517$ температура залишкових газів;

$t_d = T_d - 273^0$ $t_d = 88$ температура на початку стиску.

Що складає у відсотковому відношенні

$$q_r = Q_r / Q_{II} \cdot 100\% = 298267 / 0 \times 100\% = 34,92 \%$$

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

Теплота, яка відводиться маслом, від гарячих деталей двигуна

$$Q_M = (Q_w + Q_{MD}) - Q_s = 119564 + 65755 - 159850 = 25469 \text{ Дж/с}$$

$$Q_{MD} = \Delta_{MD} \cdot Q_{II} = 0,077 \times 0 = 65755 \text{ Дж/с} - \text{теплота, еквівалентна}$$

роботі на подолання опору в механізмах двигуна.

$$\Delta_{MD} = (P_{MD} / P_{mi}) \eta_i = 158 / 997 \times 0,486 = 0,077 \text{ доля втрат}$$

в механізмах двигуна.

Теплота, еквівалентна роботі на привід насоса системи мащення

Витрата циркуляційного масла

$$V_M = \frac{\kappa \cdot Q_{M1} \cdot 10^{-3}}{\rho_M \cdot C_{tm} \cdot \Delta} = \frac{1,3 \times 25469 \times 10^{-3}}{900 \times 2,094 \times 8} = 0,002196 \text{ м}^3/\text{с}$$

$K=1,2-1,5$ - коефіцієнт запасу;

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

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

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

Потужність, яка використовується на привід масляного насоса

$$P_{M.H.} = \frac{V_M \cdot P_0}{\eta \cdot 10^5} = \frac{0,002196 \times 400000}{0,9 \times 1000} = 0,976 \text{ кВт}$$

де $P_0 = (0,3 - 0,4)10^6$ - робочий тиск масла в системі. $P_0 = 400000 \text{ Па;}$

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

					ПННІ НУК 131.61.22.06 ПЗ	Лист
						33
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Q_{M2} = 1000 \cdot P_{MH} = 1000 \times 0,976 = 976 \text{ Дж/с}$$

Загальна кількість теплоти складає

$$Q_M = Q_{M1} + Q_{M2} = 25469 + 976 = 26445 \text{ Дж/с}$$

у відсотковому відношенні

$$q_M = Q_M / Q_{IT} \cdot 100\% = 26445 / 854029,7 \times 100\% = 3,10 \%$$

Невраховані теплові втрати

$$Q_{HB} = Q_{IT} - (Q_{\epsilon} + Q_{\delta} + Q_{\gamma} + Q_M) = 854029,7 - 350718 - 159850 - 298267 - 26445 = 18750 \text{ Дж/с}$$

що складає у відсотковому відношенні:

$$q_{HB} = Q_{HB} / Q_{IT} \cdot 100\% = 18750 / 854029,7 \times 100\% = 2,20 \%$$

Всі отримані дані зведені в таблицю 2.5

Таблиця 2.5 Зведена таблиця теплового балансу

Складові теплового балансу	Дж/с	%
Теплота, еквівалентна ефективній роботі	350718	41,07
Теплота, яка відводиться охолоджувальною рідиною	159850	18,72
Теплота, яка виноситься випускними газами	298267	34,92
Теплота, яка відводиться маслом	26445	3,10
Невраховані теплові втрати	18750	2,20
Загальна кількість теплоти, введеної в двигун з паливом	854029,7	100

2.4 Розрахунок індикаторної діаграми

Розрахунок теоретичної індикаторної діаграми

$P_{mi} = 0,997$ МПа - середній індикаторний тиск;

$P_d = 0,149$ МПа - тиск в кінці впуску;

$n_1 = 1,370$ показник політропи стиску;

$\varepsilon_c = 13,5$ ступінь стиску;

$P_{max} = 7,877$ МПа - максимальний тиск в циліндрі;

$n_2 = 1,2$ показник політропи розширення;

$\rho = 1,310$ ступінь попереднього розширення;

$m_p = 0,040$ МПа/мм - масштаб по осі тиску.

Таблиця 2.1 Результати розрахунку

V/V_c	$P_{CT}, \text{МПа}$	$P_{CT}, \text{мм}$	$P_{роз}, \text{МПа}$	$P_{роз}, \text{мм}$	$P_{cp}, \text{МПа}$
1	5,252	131			
1,310	3,627	91	7,877	197	
1,5	3,013	75	6,706	168	
1,75	2,440	61	5,582	140	
2	2,032	51	4,762	119	2,730
3	1,166	29	2,939	73	1,774
4	0,786	20	2,087	52	1,301
5	0,579	14	1,601	40	1,022
6	0,451	11	1,288	32	0,837
7	0,365	9	1,072	27	0,707
8	0,304	8	0,915	23	0,611
9	0,259	6	0,795	20	0,536
10	0,224	6	0,702	18	0,477
11	0,197	5	0,626	16	0,430
12	0,175	4	0,565	14	0,390
13	0,156	4	0,513	13	0,357
13,5	0,149	4	0,491	12	
$P_{mi}^D =$					1,017

Об'єм камери згоряння

$$V_i = \frac{V_s}{\varepsilon - 1} = \frac{250}{13,5 - 1} = 20 \text{ мм}$$

$$V_s = [AB] = 250 \text{ мм} - \text{приведений робочий об'єм}$$

Похибка середнього індикаторного тиску

$$\Delta P_{mi} = \frac{|P_{mi} - P_{mi}^{\text{Д}}|}{P_{mi \text{ ср}}} \times 100\% = \frac{|0,997 - 1,017|}{1,007} \times 100\% = 2,0 \%$$

$$P_{mi \text{ ср}} = \frac{P_{mi} + P_{mi}^{\text{Д}}}{2} = \frac{0,997 + 1,017}{2} = 1,007 \text{ МПа}$$

Похибка не перевищує 5%

Побудова дійсної індикаторної діаг діаграми

C – точка подачі палива форсункою.

Визначається кутом випередження впорску палива;

f – точка початку згорання, визначається кутом затримки

згорання: $\Delta \varphi_1 = ;^{\circ} \text{ ПКВ}$

$\Delta \varphi_2$ – кут після ВМТ, де тиск максимальний;

b – точка відкриття випускного клапану;

r' – точка відкриття впускного клапану;

r'' – точка закриття випускного клапану;

d – точка закриття впускного клапану;

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

Z_d – точка максимального тиску газів.

					ПННІ НУК 131.61.22.06 ПЗ	Лист
						36
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Побудова дійсної індикаторної діаграми

C – точка подачі палива форсункою.

Визначається кутом випередження впорску палива;

f – точка початку згорання, визначається кутом затримки

згорання: $\Delta\varphi_1 = ,^{\circ} ПКВ$

$\Delta\varphi_2$ – кут після ВМТ, де тиск максимальний;

B – точка відкриття випускного клапану;

r' – точка відкриття впускного клапану;

r'' – точка закриття випускного клапану;

d – точка закриття впускного клапану;

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

Z_d – точка максимального тиску газів.

$\lambda_L = 0,25$ кривошипно-шатунне відношення;

$[AB] = 250$ мм - відстань від ВМТ до НМТ на діаграмі;

$\Delta\varphi_1 = 9^{\circ}$ ПКВ - кут затримки згорання;

$P_r = 0,1485$ МПа - тиск залишкових газів;

$m_p = 0,04$ МПа/мм - масштаб тиску;

$S = 340$ мм - хід поршня;

$P_c = 5,252$ МПа - тиск в кінці стиску;

$P_{max} = 7,877$ МПа - максимальний тиск.

					<i>ПННІ НУК 131.61.22.06 ПЗ</i>	Лист
						37
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.2 Визначення точок дійсної індикаторної діаграми

Позначка точки φ^0 , ПКВ	Положення точки відносно ВМТ, φ^0 , ПКВ	Постійна $X = (1 - \cos\varphi) + \frac{\lambda_L}{4} \times (1 - \cos 2\varphi)$	Відстань від ВМТ до точки $X \times \frac{[AB]}{2}$, мм
C' , ДоВМТ	18	0,060879922	8
f , ДоВМТ	9	0,015370627	2
$\Delta\varphi_2$, ПісляВМТ	10	0,018961458	2
b' , ПісляВМТ	140	1,817691432	227
r' , ДоВМТ	20	0,074929602	9
r'' , ПісляВМТ	20	0,074929602	9
d' , ДоВМТ	140	1,817691432	227

Ордината точки г

$$\frac{P_r}{m_p} = \frac{0,1485}{0,04} = 4 \text{ мм}$$

Тиск газів в ВМТ

$$P'_c = (1,15 - 1,25) \times P_c = 1,2 \times 5,252 = 6,302 \text{ МПа}$$

$$P_c'' = 158 \text{ мм}$$

Максимальний тиск згорання

$$\text{для дизелів: } P_{zd} = P_{\max} = 7,877 \text{ МПа}$$

Поправка Брікса

$$OO' = \frac{R \cdot \lambda_L}{2} = \frac{170}{2} \times 0,25 = 21,3 \text{ мм}$$

Масштаб переміщення

$$M_s = \frac{S}{AB} = \frac{340}{250} = 1,36$$

Поправка Брікса в масштабі переміщення

$$OO = \frac{OO'}{M_s} = \frac{21,3}{1,36} = 16 \text{ мм}$$

		.			ПННІ НУК 131.61.22.06 ПЗ	Лист
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

2.5 Динамічний розрахунок двигуна

На деталі КШМ діють:

Сили тиску газу

$$F_z = P_y \times \frac{\pi d^2}{4}, H$$

Сили інерції мас, що рухаються зворотно-поступально

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

Сумарна сила (дійсна)

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

Нормальна сила

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

Радіальна сила

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

Дотична сила

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

Вихідні дані:

$d = 0,25$ м - діаметр поршня;

$n = 500$ хв⁻¹ - частота обертання;

$h_{\max} = 197$ мм - ордината прийнята для $P_{\max}$;

					ПННІ НУК 131.61.22.06 ПЗ	Лист
						39
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$P_{\max} = 7877$ кПа - максимальний тиск циклу;

$\lambda_l = 0,250$ - кривошипно-шатунне відношення;

$m_p = 40,0$ кПа/мм - масштаб індикаторної діаграми;

$m_s = 80,0$ кг - маса деталей, що рухаються
зворотно-поступально;

$r = 0,170$ м - радіус кривошипа;

$\Delta \varphi_2^0 = 10,0$ ° - кут максимального тиску;

$m_R = 50,0$ кг - маса деталей, що рухаються
обертальніс

$\omega = 52,33$ с⁻¹ - кутова швидкість;

$m_F = 4,00$ кН/мм - масштаб сил;

$A = 0,049$ м² - площа поршня.

					ПННІ НУК 131.61.22.06 ПЗ	Лист
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

Таблиця 2.4 Результати динамічного розрахунку

φ °	РЦ	F _Г	F _И	F _d	F _N	F _Г	F _K	F _Г	F _И	F _d	F _N	F _Г	F _K	β
ПКВ	ММ	КН	КН	КН	КН	КН	КН	КН	ММ	ММ	ММ	ММ	ММ	
0	4	7,85	-46,56	-38,71	0,00	-38,71	0,00	-38,71	-12	-10	0	-10	0	0,00
10	4	7,85	-45,43	-37,58	-1,63	-36,73	-8,13	-36,73	-11	-9	0	-9	-2	2,49
20	4	7,85	-42,13	-34,28	-2,94	-31,21	-14,49	-31,21	-11	-9	-1	-8	-4	4,91
30	4	7,85	-36,91	-29,06	-3,66	-23,34	-17,70	-23,34	-9	-7	-1	-6	-4	7,18
40	4	7,85	-30,15	-22,30	-3,63	-14,75	-17,12	-14,75	-8	-6	-1	-4	-4	9,25
50	4	7,85	-22,33	-14,48	-2,82	-7,14	-12,90	-7,14	-6	-4	-1	-2	-3	11,04
60	4	7,85	-13,97	-6,12	-1,36	-1,88	-5,98	-1,88	-3	-2	0	0	-1	12,50
70	4	7,85	-5,61	2,24	0,54	0,26	2,29	0,26	-1	1	0	0	1	13,59
80	4	7,85	2,28	10,13	2,57	-0,78	10,43	-0,78	1	3	1	0	3	14,25
90	4	7,85	9,31	17,16	4,43	-4,43	17,16	-4,43	2	4	1	-1	4	14,48
100	4	7,85	15,22	23,07	5,86	-9,78	21,70	-9,78	4	6	1	-2	5	14,25
110	4	7,85	19,87	27,72	6,70	-15,78	23,76	-15,78	5	7	2	-4	6	13,59
120	4	7,85	23,28	31,13	6,90	-21,54	23,51	-21,54	6	8	2	-5	6	12,50
130	4	7,85	25,56	33,41	6,52	-26,47	21,40	-26,47	6	8	2	-7	5	11,04
140	4	7,85	26,92	34,77	5,66	-30,27	18,01	-30,27	7	9	1	-8	5	9,25
150	4	7,85	27,60	35,45	4,47	-32,93	13,86	-32,93	7	9	1	-8	3	7,18
160	4	7,85	27,87	35,72	3,07	-34,61	9,34	-34,61	7	9	1	-9	2	4,91
170	4	7,85	27,93	35,78	1,55	-35,51	4,68	-35,51	7	9	0	-9	1	2,49
180	4	7,85	27,94	35,79	0,00	-35,79	0,00	-35,79	7	9	0	-9	0	0,00
190	4	7,85	27,93	35,78	-1,55	-35,51	-4,68	-35,51	7	9	0	-9	-1	-2,49
200	4	7,85	27,87	35,72	-3,07	-34,61	-9,34	-34,61	7	9	-1	-9	-2	-4,91
210	4	7,85	27,60	35,45	-4,47	-32,93	-13,86	-32,93	7	9	-1	-8	-3	-7,18
220	4	7,85	26,92	34,77	-5,66	-30,27	-18,01	-30,27	7	9	-1	-8	-5	-9,25
230	4	7,85	25,56	33,41	-6,52	-26,47	-21,40	-26,47	6	8	-2	-7	-5	-11,04
240	5,5	10,79	23,28	34,07	-7,56	-23,58	-25,73	-23,58	6	9	-2	-6	-6	-12,50
250	7	13,74	19,87	33,61	-8,12	-19,13	-28,80	-19,13	5	8	-2	-5	-7	-13,59

ПННІ НУК 131.61.22.06 ПЗ

Ізм.

Арк.

№ докум.

Підпис

Дата

Лист

41

Продовження таблиці 2.4 Результати динамічного розрахунку

φ °	РЦ	F _Г	F _и	F _d	F _N	F _Г	F _K	F _Г	F _и	F _d	F _N	F _Г	F _K	β
ПКВ	ММ	КН	КН	КН	КН	КН	КН	КН	ММ	ММ	ММ	ММ	ММ	
260	6	11,78	15,22	26,99	-6,86	-11,44	-25,39	3	4	7	-2	-3	-6	-14,25
270	7	13,74	9,31	23,05	-5,95	-5,95	-23,05	3	2	6	-1	-1	-6	-14,48
280	8	15,70	2,28	17,98	-4,57	-1,38	-18,50	4	1	4	-1	0	-5	-14,25
290	9	17,66	-5,61	12,06	-2,91	1,39	-12,33	4	-1	3	-1	0	-3	-13,59
300	13	25,51	-13,97	11,54	-2,56	3,56	-11,28	6	-3	3	-1	1	-3	-12,50
310	22	43,18	-22,33	20,85	-4,07	10,29	-18,59	11	-6	5	-1	3	-5	-11,04
320	34	66,73	-30,15	36,57	-5,95	24,19	-28,07	17	-8	9	-1	6	-7	-9,25
330	53	104,01	-36,91	67,10	-8,45	53,88	-40,87	26	-9	17	-2	13	-10	-7,18
340	76	149,15	-42,13	107,02	-9,18	97,42	-45,23	37	-11	27	-2	24	-11	-4,91
350	107	209,99	-45,43	164,56	-7,15	160,81	-35,62	52	-11	41	-2	40	-9	-2,49
360	158	310,08	-46,56	263,52	0,00	263,52	0,00	78	-12	66	0	66	0	0,00
370	198	388,58	-45,43	343,14	14,91	335,34	74,27	97	-11	86	4	84	19	2,49
380	167	327,74	-42,13	285,60	24,51	260,00	120,71	82	-11	71	6	65	30	4,91
390	120	235,50	-36,91	198,59	25,02	159,47	120,96	59	-9	50	6	40	30	7,18
400	82	160,93	-30,15	130,77	21,29	86,49	100,37	40	-8	33	5	22	25	9,25
410	58	113,83	-22,33	91,50	17,85	45,14	81,57	28	-6	23	4	11	20	11,04
420	41	80,46	-13,97	66,49	14,75	20,48	64,96	20	-3	17	4	5	16	12,50
430	33	64,76	-5,61	59,16	14,30	6,80	60,48	16	-1	15	4	2	15	13,59
440	28	54,95	2,28	57,23	14,54	-4,38	58,89	14	1	14	4	-1	15	14,25
450	23	45,14	9,31	54,45	14,06	-14,06	54,45	11	2	14	4	-4	14	14,48
460	20	39,25	15,22	54,47	13,84	-23,08	51,24	10	4	14	3	-6	13	14,25
470	18	35,33	19,87	55,20	13,34	-31,41	47,31	9	5	14	3	-8	12	13,59
480	16	31,40	23,28	54,68	12,13	-37,84	41,29	8	6	14	3	-9	10	12,50
490	15	29,44	25,56	55,00	10,73	-43,57	35,23	7	6	14	3	-11	9	11,04
500	14	27,48	26,92	54,39	8,86	-47,36	28,18	7	7	14	2	-12	7	9,25
510	6	11,78	27,60	39,38	4,96	-36,58	15,39	3	7	10	1	-9	4	7,18

Продовження таблиці 2.4 Результати динамічного розрахунку

φ°	Pц	F _T	F _и	F _d	F _N	Fr	Fk	F _T	F _и	F _d	F _N	Fr	Fk	β
ПКВ	ММ	КН	КН	КН	КН	КН	КН	ММ	ММ	ММ	ММ	ММ	ММ	
520	5	9,81	27,87	37,68	3,23	-36,51	9,85	2	7	9	1	-9	2	4,91
530	4	7,85	27,93	35,78	1,55	-35,51	4,68	2	7	9	0	-9	1	2,49
540	4	7,85	27,94	35,79	0,00	-35,79	0,00	2	7	9	0	-9	0	0,00
550	4	7,85	27,93	35,78	-1,55	-35,51	-4,68	2	7	9	0	-9	-1	-2,49
560	4	7,85	27,87	35,72	-3,07	-34,61	-9,34	2	7	9	-1	-9	-2	-4,91
570	4	7,85	27,60	35,45	-4,47	-32,93	-13,86	2	7	9	-1	-8	-3	-7,18
580	4	7,85	26,92	34,77	-5,66	-30,27	-18,01	2	7	9	-1	-8	-5	-9,25
590	4	7,85	25,56	33,41	-6,52	-26,47	-21,40	2	6	8	-2	-7	-5	-11,04
600	4	7,85	23,28	31,13	-6,90	-21,54	-23,51	2	6	8	-2	-5	-6	-12,50
610	4	7,85	19,87	27,72	-6,70	-15,78	-23,76	2	5	7	-2	-4	-6	-13,59
620	4	7,85	15,22	23,07	-5,86	-9,78	-21,70	2	4	6	-1	-2	-5	-14,25
630	4	7,85	9,31	17,16	-4,43	-4,43	-17,16	2	2	4	-1	-1	-4	-14,48
640	4	7,85	2,28	10,13	-2,57	-0,78	-10,43	2	1	3	-1	0	-3	-14,25
650	4	7,85	-5,61	2,24	-0,54	0,26	-2,29	2	-1	1	0	0	-1	-13,59
660	4	7,85	-13,97	-6,12	1,36	-1,88	5,98	2	-3	-2	0	0	1	-12,50
670	4	7,85	-22,33	-14,48	2,82	-7,14	12,90	2	-6	-4	1	-2	3	-11,04
680	4	7,85	-30,15	-22,30	3,63	-14,75	17,12	2	-8	-6	1	-4	4	-9,25
690	4	7,85	-36,91	-29,06	3,66	-23,34	17,70	2	-9	-7	1	-6	4	-7,18
700	4	7,85	-42,13	-34,28	2,94	-31,21	14,49	2	-11	-9	1	-8	4	-4,91
710	4	7,85	-45,43	-37,58	1,63	-36,73	8,13	2	-11	-9	0	-9	2	-2,49
720	4	7,85	-46,56	-38,71	0,00	-38,71	0,00	2	-12	-10	0	-10	0	0,00

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

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

Таблиця 2.2

Ефективні показники двигуна-прототипу та проектного двигуна.

№ п/п	Назва параметру	Позначення	Розмірність	Чисельне значення		Порівняння, у %
				Двигун-прототип	Проектований двигун	
1	Ефективна потужність	P_e	кВт	345	350	8,0
2	Середній ефективний тиск	P_{me}	кПа	830	841	1,3
3	Ступінь стиску	ϵ		12,5	13,5	8,0
4	Тиск наддува	P_b	кПа	150	165	10,0
5	Паливо, що використовується			дизельне	мазут	
6	Нижча теплота згоряння палива	Q	кДж/кг	42500	41300	-2,8
7	Питома витрата палива	b_e	кг/кВт·год	0,211	0,213	0,948
8	Питома витрата теплоти	q_e	кДж/кВт·год	8968	8797	-1,9
9	Частота обертання	n	об/хв	500	500	0,0
10	Кількість циліндрів	i	шт.	6	6	0,0
11	Діаметр циліндру	D	мм	250	250	0,0
12	Хід поршня	S	мм	340	340	0,0

Як видно із таблиці 2.2, двигуни мають приблизно однакові технічні показники, оскільки потужність зросла лише на 8%, а літраж двигуна та частота обертання не змінились. У проектного двигуна питома ефективна витрата палива збільшилась на 1%. Це можна пояснити використанням палива з меншою теплотою згорання.

Для компенсації неминучого погіршення ефективних показників двигуна при використанні палива з меншою теплотою згорання було збільшено ступінь стиску на 8% та тиск наддуву на 10%, тому середній ефективний тиск не тільки не зменшився, а навіть виріс на 1,3%. Та, як показало порівняння витрати теплоти, проектований двигун має перевагу, тому можна зробити висновок, що робочий процес проектного двигуна організовано кращим чином.

					ПННІ НУК 131.61.22.06 ПЗ	Лист
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

РОЗДІЛ 3. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

3.1 Опис паливної системи.

Паливо з витратної місткості паливопідкачуючим насосом 2 (рисунок 3.1) типу МШ-3А подається по трубці 3 через фільтр паливний 2ТФ-4 в головну магістраль 10. З головної магістралі паливо подається по трубках 9 до паливних насосів 5 високого тиску. Паливні насоси подають паливо по трубках 7 через форсунки 6 в кінці такту стискання в камері згорання дизеля. У системі встановлений редукційний клапан 1.

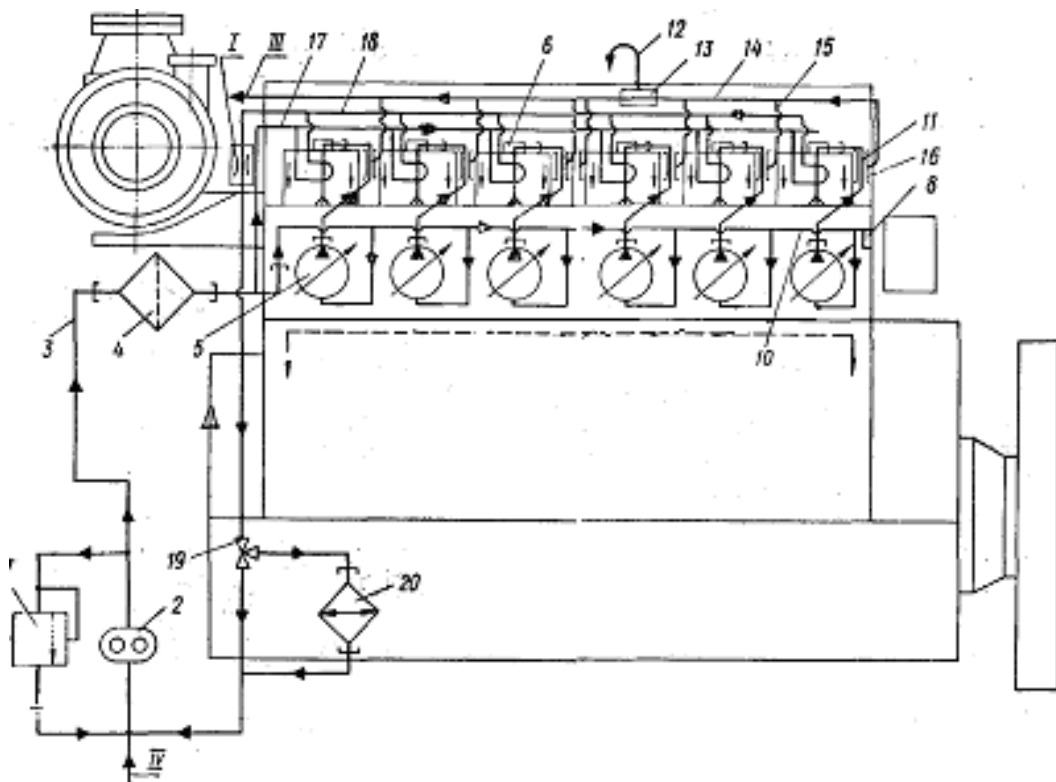


Рисунок 3.1. Схема паливної системи.

1-клапан редукційний; 2 — насос паливопідкачуючий МШ-3А; 3, 7, 9, II, 12, 14, 15, 17, 18 — трубка; 4 — фільтр паливний; 5 — насос високого тиску; 6 — форсунка; 8 — ніпель; 10 — магістраль головна; 13 — клапан розвантажувальний; 16 — захисний пристрій; 19 — регулятор температури палива; 20 — охолоджувач палива; 21 — дросель для підтримки тиску охолодження форсунок; 22 — відведення витоків палива; 23 — до датчика тиску КРМ; IV — підведення палива до шестерного насоса МШ-3А з витратної місткості.

					ПННІ НУК 131.61.22.06 ПЗ	Лист
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

Паливopідкачуючий насос МШ-3А. Складається власне з насоса 11 (рисунок 3.2), приводу 1 і перехідника 14 для під'єднування всмоктувального і нагнітального трубопроводів. З'єднання перехідника з корпусом насоса різьбове конічне.

Привід насоса складається з корпусу 2, шліцьового валу 3, втулки 4. Чотирма болтами 7 з гайками 10 і шайбами 9 насос з'єднується з корпусом приводу, який кріпиться на передній кришці масляного насоса.

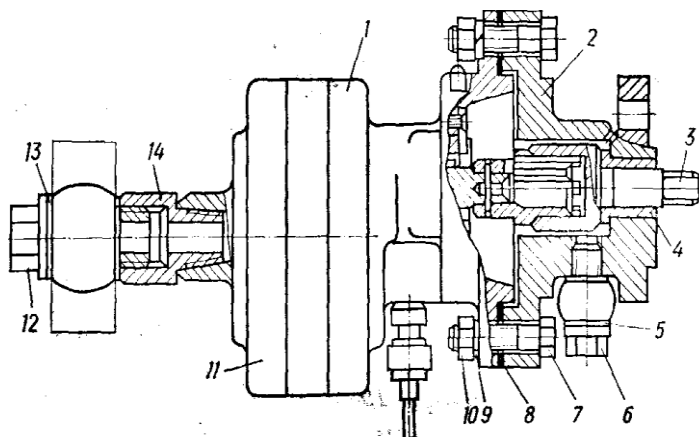


Рисунок 3.2. Паливopідкачуючий насос МШ-3А.

1 — привід насоса (у зборі); 2 — корпус приводу; 3 — вал шліцьовий; 4 — втулка; 5, 8, 13 — прокладка; 6, 12 — ніпель; 7 — болт; 9 — шайба; 10 — гайка; 11 — насос; 14 — перехідник.

Всмоктувальний і нагнітальний трубопроводи приєднуються до перехідника 14 ніпелем 12 за допомогою прокладок 13. Масло, що просочилося в корпус приводу 1 насоса, відводиться через ніпель 6 у фундаментну раму.

Фільтр тонкого очищення палива 2ТФ4. Фільтр призначений для тонкого очищення від механічних домішок дизельного палива. Фільтр має два фільтруючі елементи 2, розташовані в окремих корпусах і об'єднаних загальною кришкою 5. Для розділення порожнин брудного і чистого палива фільтруючий елемент зверху і знизу ущільнюється кільцями ущільнювачів 34, які підібгані пружиною 13.

У кришці 5 є сталева різьбова втулка 4, в яку угвинчується труба 15 з болтами 12 в зборі. Кулька 10, ніпель 6 з накидною гайкою 8 складають клапан зливу відстою палива з фільтру.

Для зливу відстою при промивках до нижнього кінця ніпеля під'єднується зливний трубопровід у вигляді гнучкого шланга. Для перемикання однієї з секцій на промивку в кришці є кран з ручкою 33.

Для випуску повітря встановлені болти 24, конструкція яких передбачає можливість під'єднування трубопроводу для відведення повітря з фільтру. У робочому положенні фільтру паливо через штуцер 27, що підводить паливо, і свердлення в кришці потрапляє в порожнини корпусів фільтру, фільтрується, проходячи через фільтруючі штори, а потім по центральних каналах і свердленнях в кришці проходить до штуцеру 26, що підводить паливо.

Для забезпечення нормальної роботи фільтру і збільшення терміну служби фільтри повинні піддаватися своєчасному технічному обслуговуванню, що полягає у періодичному зливанні відстою, промивці фільтруючих елементів зворотним потоком палива.

Якщо фільтруючі елементи погано промиваються або після промивки швидко втрачають пропускну спроможність, їх необхідно замінити.

В разі необхідності, залежно від забруднення і обводнення палива, проводиться зливання відстою по черзі шляхом відгвинчування накидної гайки 8 на 2—3 обороти.

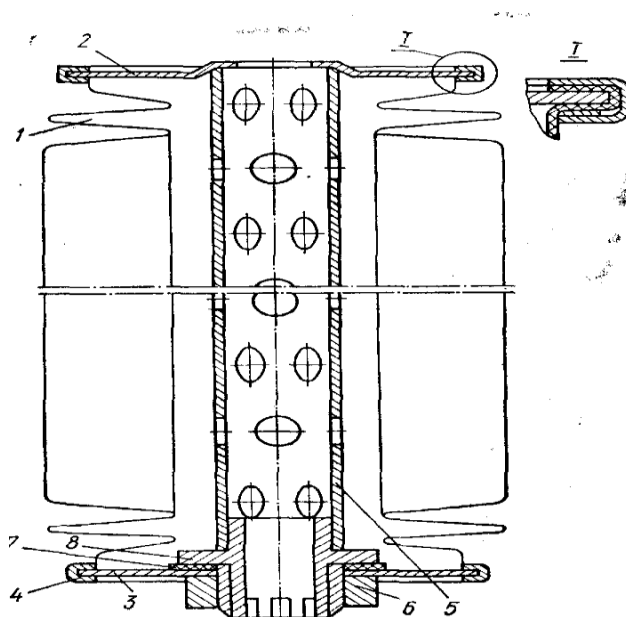


Рисунок 3.3. Фільтруючий елемент

					ПННІ НУК 131.61.22.06 ПЗ	Лист
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

Заміну фільтруючих елементів проводити при непрацюючому дизелі в такій послідовності:

- відгвинтити накидну гайку 8 (рисунок 3.3) і болт 24 випуску повітря, злити паливо з корпусу;
- вигвинтити трубу з болтом 12 в зборі з кришки 5, і, притримуючи корпус 1, вийняти з корпусу елемент та поставити на його місце новий. При цьому необхідно підтримувати трубу з болтом в зборі, щоб вона не випала з отвору корпусу;
- корпус зі вставленим в нього фільтруючим елементом встановити на місце і загвинтити в кришку трубу, направивши корпус в проточку ущільнювача в кришці.

Штора фільтруюча. Штора фільтруюча є трубою з міткалю, складеною гармошкою. Таке укладання дозволяє у відносно невеликому об'ємі мати фільтруючу перегородку з великою поверхнею фільтрації. За допомогою ободів 4 (рисунок 4.4) штора обвальцьована навколо кришок 2 і 3, одна з яких (верхня) припаяна до труби 5, а інша (нижня) кріпиться за допомогою гайки 6.

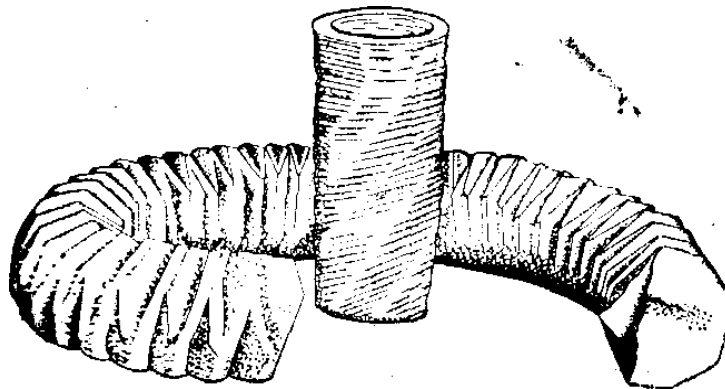


Рисунок 3.4 Штора фільтруюча.

Форсунка закритого типу з гідравлічним управлінням підйому голки призначена для уприскування палива в циліндр дизеля в дрібно розпиляному стані. Розпилювання палива виходить за рахунок витікання його з великою швидкістю через ряд соплових отворів діаметром 0,35 мм.

					ПННІ НУК 131.61.22.06 ПЗ	Лист
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

Форсунка (рисунок 3.5) має автоматичний замочний клапан (голку 2) для роз'єднання нагнітального трубопроводу (порожнина А) з порожниною циліндра (порожнина Б). Голка знаходиться усередині корпусу розпилювача і навантажена через стержень 5 штовхача пружиною 6, зтягування якої виробляється регулювальним гвинтом 7. Підйом голки здійснюється автоматично під дією тиску палива, створюваного насосом.

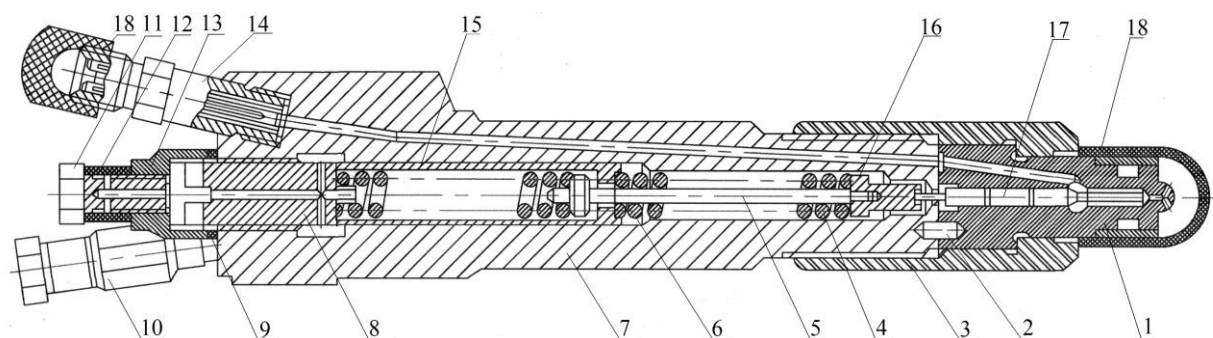


Рисунок 3.5 Форсунка.

1 - розпилювач; 2 - штифт; 3 - гайка розпилювача; 4 - пружина; 5 - штовхач; 6 - пружина; 7 - корпус; 8 - гвинт регулювальний; 9 - прокладка; 10 - штуцер; 11 - болт; 12 - проставка; 13 - контргайка; 14 - щільний фільтр; 15 - гільза; 16 - тарілка; 17 - голка; 18 - заглушка

Розпилювач форсунки охолоджується паливом. Для роботи на важкому паливі розпилювач має вісім соплових отворів діаметром 0,55 мм, розташованих під кутом 45°. Пружини зтягнуті так, що голка піднімається лише в той момент, коли тиск палива в порожнині корпусу розпилювача досягає $270+10 \text{ кГс/см}^2$. Зтяжка пружини регулюється гвинтом 8, який стопориться контргайкою 13. Поверхні корпусу форсунки та корпусу розпилювача фіксуються штифтом 2.

Підтікання палива через зазор між голкою та корпусом розпилювача відводиться по каналу регулювального гвинта 8 у відвід підтікань.

Підведення та відведення рідини охолодження розпилювача здійснюється через штуцери 10. Редукційний клапан встановлений на трубопроводі і призначений для регулювання тиску палива в системі між паливопідкачуючим насосом - паливний насос високого тиску. У ніпелі пружиною притиснута

					ПННІ НУК 131.61.22.06 ПЗ	Лист
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

кулька. Пружина зтягується гвинтом, який від самовідгвинчування стопориться контргайкою. З підвищенням тиску кулька віджимається і паливо відводиться у засмоктуючий трубопровід.

Паливний насос високого тиску. Паливний насос здійснює стиснення палива до тиску уприскування і подачу його у форсунку. Уприскування палива здійснюється через форсунку в камеру згорання циліндра дизеля. Насоси одноплунжерні, золотникового типу, кріпляться на корпусі штовхачів, встановлених на полці блок-картера.

Кожен насос має наступну конструкцію: у розточці чавунного корпусу 11 (рисунок 3.6) встановлена втулка 22 плунжера, застопорена болтом 20. У втулці 22 рухається плунжер 23. Для регулювання кількості палива, що подається у циліндри дизеля у відповідності до навантаження, на плунжері є спіральна відсічна кромка. Пружина 15 через тарілку 14 притискає хвостовик плунжера до стакану 13, який утримується в корпусі насосу установочним кільцем 12.

Плунжер входить в зачеплення з вінцем шестерні 19, що знаходиться у зачепленні з рейкою 18, хід якої обмежений болтом 16.

На верхньому торці втулки плунжера встановлений нагнітальний клапан 25. Затяжкою штуцера 26 досягається щільне притиснення ущільнювального кільця 24 до корпусу насоса і нагнітального клапану, а також нагнітального клапана до втулки плунжера. Для випуску повітря з насоса слугує пробка 29. Привод паливного насоса складається з корпусу 4, у якому рухається повзун 3 зі вкрученим у нього штовхачем 10, що закріплений контргайкою 9. Між повзуном і контргайкою встановлений паливо віддзеркалювач 7. У пазу повзуна на осі 2 розміщений ролик 1, який про роботі дизеля перекочується по паливному кулаку.

Зазор між роликом 1 та паливним кулаком регулюється за допомогою штовхача 10, який фіксується контргайкою 9, при встановленні ролика на тильній частині паливного кулака.

					ПННІ НУК 131.61.22.06 ПЗ	Лист
						50
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

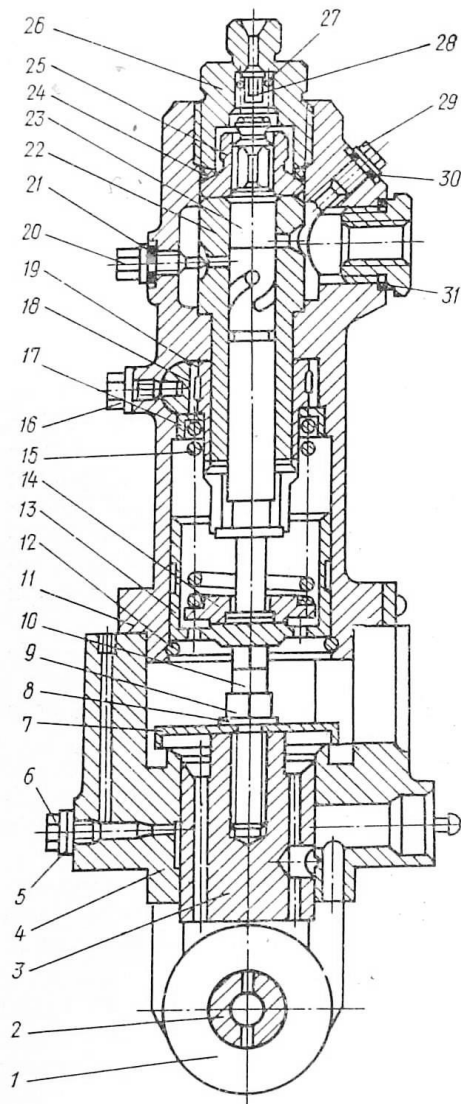


Рисунок 3.6. Паливний насос із приводом.

1 – ролик; 2 – вісь; 3 – повзун; 4, 11 – корпус; 5, 21, 30, 31 – прокладка; 6, 29 – пробка; 7 – паливовіддзеркалювач; 8 – шайба; 9 – контргайка; 10 – штовхач; 11 – корпус; 12 – кільце установочне; 13 – стакан; 14 – тарілка нижня; 15 – пружина плунжера; 16, 20 – болт; 17 – тарілка верхня; 18 – рейка; 19 – шестерня; 22 – втулка плунжера; 23 – плунжер; 24 – кільце ущільнювальне; 25 – клапан нагнітальний; 26 – штуцер нажимний; 27 – пружина; 28 – обмежувач.

3.2 Розрахунок системи підготовки моторного палива

Під системами паливopідготовки розуміється сукупність засобів, що забезпечують приймання, зберігання, перекачування, і підготовку до спалювання в дизелі моторного палива. У зв'язку із значною відмінністю характеристик важкого палива від дизельної системи паливopідготовки, головні дизелі яких

					ПННІ НУК 131.61.22.06 ПЗ	Лист
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

працюють на важкому паливі, істотно ускладнюються. Як правило, такі системи включають комплекс додаткового устаткування (сепаратори, що самоочищаються; якщо останні відсутні, регулятори в'язкості, підігрівачі), а паливні цистерни обладнуються змійовиками загального і місцевого підігріву, трубопроводи ізолюють і часто забезпечують паровими супутниками.

Основний запас важкого палива розташовується в головних цистернах для зберігання палива. У всіх цистернах є трубчатий електричний підігрів. Система трубопроводів дозволяє перекачувати паливо з однієї місткості в іншу, зокрема з дизельних цистерн в мазутові і навпаки, паливоперекачуючим насосом. Витратні цистерни поповнюються паливом, очищеним в сепараторах. Відстійні цистерни і витратні цистерни обладнані швидкозапорними клапанами для спуску шламу і води. Для автоматичної підтримки заданої температури палива в цих місткостях, система їх обігріву забезпечена терморегуляторами.

Основні характеристики моторного палива

Щільність, ρ , кг/м ³	970
В'язкість при 50°C, сст	150
Коксуємість, % (не більше)	10
Зольність, % (не більше)	0,15
Температура:	
Спалаху в закритому тігелі, °C (не менше)	85
Застигання, °C (не вище)	10

Кількість тепла, яке необхідне для підігріву моторного палива

$$Q = C \cdot V \cdot \Delta t, \text{ КДж/год}$$

де: C-теплоємність моторного палива

$$C = 0,5 \text{ ккал/(кг} \cdot \text{град)} = 2,1 \text{ КДж/(кг} \cdot \text{град)};$$

$$V = 131 \text{ кг/год};$$

Δt - температура підігріву

$$\Delta t = t_2 - t_1, \text{ } ^\circ\text{C}$$

					ПННІ НУК 131.61.22.06 ПЗ	Лист
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

де:

$t_1=50^{\circ}\text{C}$ -температура моторного палива на вході в підігрівач

$t_2=90^{\circ}\text{C}$ -температура моторного палива на виході з підігрівача

$$\Delta t=90-50=40^{\circ}\text{C}$$

$$Q=2,1 \cdot 131 \cdot 40=9340 \text{ КДж/год}$$

Потужність електропідігрівача

$$N=\frac{Q}{t}, \text{ кВт}$$

$$N=\frac{9340}{3600}=2,6 \text{ кВт}$$

З урахуванням теплових втрат в навколишнє середовище і необхідність наявності резервної потужності електропідігрівача для надійної роботи дизеля на моторному паливі приймаємо встановлену потужність електропідігрівача:

$$N_{\text{уст}}=2 \cdot N, \text{ кВт}$$

$$N_{\text{уст}}=2 \cdot 2,6=5,2 \text{ кВт}$$

Необхідна потужність одного електропідігрівача:

$$N_{\text{вст}}=\frac{N_{\text{уст}}}{i}, \text{ кВт}$$

$$N_{\text{вст}}=\frac{5,2}{17}=0,305 \text{ кВт}$$

де:

i - кількість електричних тенів в підігрівачі моторного палива; $i=17$ шт.

Потужність електронагрівача, що розташований в витратній цистерні

$$P=\frac{Q}{3600}, \text{ кВт}$$

Теплові втрати в навколишнє середовище

$$Q=\alpha \cdot F \cdot \Delta t, \text{ КДж/год}$$

де: α - коефіцієнт тепловіддачі від поверхні витратної цистерни до навколишнього повітря ; $\alpha=8 \dots 10$ ватт/($\text{м}^2 \cdot \text{град}$)

					ПННІ НУК 131.61.22.06 ПЗ	Лист
						53
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Приймаємо $\alpha=9,5$ ватт/(м²·град).

Δt - температура підігріву, $\Delta t=t_6-t_{\text{пов}}$, °C

де:

$t_6=50^\circ\text{C}$ -температура зовнішньої поверхні цистерни

$t_{\text{пов}}=20^\circ\text{C}$ -температура повітря

$$\Delta t=50-20=30^\circ\text{C}$$

F- зовнішня площа витратної цистерни

$$Q=9,5 \cdot 10 \cdot 30=2850 \text{ КДж/год}$$

$$P = \frac{2850}{3600} = 0,791 \text{ кВт}$$

Діаметр трубопроводу для подачі моторного палива до двигуна знаходимо з рівняння:

$$B=3600 \cdot (\pi \cdot d^2/4) \cdot V_{\pi} \cdot \rho$$

звідки:

$$d = \sqrt{\frac{4 \times \rho}{\pi \times B \times V_{\pi} \times 3600}}, \text{ м}$$

де:

V_{π} - швидкість протікання палива в трубопроводі; $V_{\pi}=0,3 \dots 0,5$ м/с

Приймаємо $V_{\pi}=0,45$ м/с

$$d = \sqrt{\frac{4 \times 970}{3,14 \times 131 \times 0,45 \times 3600}} = 0,083, \text{ м}$$

Надійне перекачування важкого палива забезпечується, якщо його в'язкість не вища 100° ВУ (740 сСт). Терморегулятори підігрівача палива перед двигуном повинні забезпечити температуру більше 75° C .

3.3 Визначення типу виробництва

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

					ПННІ НУК 131.61.22.06 ПЗ	Лист
						54
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

Таблиця 3.1.

Залежність типу виробництва від об'єму випуску

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

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

Основні технологічні признаки серійного виробництва:

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

3.4 Вибір обладнання, пристосування та інструменту

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

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

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

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

Для продувки деталей використовувати стиснуте повітря із заводської системи.

Для промивки деталей встановлена ванна із дизельним паливом або гасом.

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

На дільниці встановлені стелажі для зберігання комплектуючих та пристосувань.

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

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

3.5 Визначення технічної норми часу

Розрахунок штучного часу в умовах серійного виробництва вираховується згідно формули

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

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

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

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

					ПННІ НУК 131.61.22.06 ПЗ	Лист
						56
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

Визначимо штучний час на кожну окрему операцію складання форсунки

05 Підготовча.

$$T_{005} = 13,9 (1+(4+3)/100) = 14,89 \text{ хв.}$$

010 Складальна.

$$T_{010} = 4,6 (1+(4+3)/100) = 4,98 \text{ хв.}$$

015 Випробувальна

$$T_{015} = 3,0 (1+(4+3)/100) = 3,15 \text{ хв.}$$

Визначаємо загальний штучний час на складання.

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

$$T_{\text{шт}} = 14,89 + 4,98 + 3,15 = 23,02 \text{ хв.}$$

					ПННІ НУК 131.61.22.06 ПЗ	Лист
						57
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

4.1 Аналіз шкідливих та небезпечних факторів в машинному відділенні при експлуатації двигуна

При експлуатації двигуна можуть статись вибухи. Основну небезпеку можуть створити можливість контакту парів палива та масла з гарячими деталями в картері та ресивері двигуна. Для попередження вибухів необхідно видаляти пари палива та мастила за допомогою вентиляції МВ, слідкувати за справністю трубопроводів, відсутністю протікань масла та палива, обладнати картер запобіжними клапанами.

При експлуатації двигуна можливі опіки обслуговуючого персоналу при контакті з гарячими деталями двигуна. Тому всі частини двигуна з температурою поверхні більше 50°C повинні бути обладнані захисними кожухами або ізольовані.

В МВ можливі травми при контакті з деталями, що обертаються, та рухомими частинами вузлів та механізмів. Для виключення таких травм всі деталі, що обертаються, та рухомі частини механізмів і вузлів повинні бути захищені кожухами або ізольовані.

Підвищення потужності та загальної енергонасиченості сучасних МВ збільшило вимоги до таких ергономічних показників забезпечення оптимальних умов праці екіпажу на судні, як вентиляція МВ, шумність, освітленість МВ, вібрація, пожежобезпечність, електробезпечність.

Система вентиляції

Система вентиляції призначена для утворення нормуємих метеорологічних умов повітряного середовища в приміщенні МВ. Система вентиляції розроблена в межах діючих санітарних норм.

МВ обладнується штучною припливною, штучною та природньою витяжною вентиляцією, яка забезпечує підтримання в робочій зоні приміщення

					ПННІ НУК 131.61.22.06 ПЗ	Лист
						58
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

МВ параметрів повітря у відповідності з діючими нормами.

Приплив повітря в МВ даного судна здійснюється радіальними вентиляторами серії РСС. Витяжка з МВ здійснюється шляхом забору його головним та допоміжним двигунами та котельним вентилятором.

Розподіл припливного повітря на основні та допоміжні площадки МВ здійснюється через поворотні жалюзі, сітки.

Хімічний склад повітряного середовища в робочій зоні нормується виходячи з необхідності забезпечення складу шкідливих речовин в гранично-допустимих концентраціях (ГДК) згідно вимог СН-2498-81. В таблиці 4.1 наведено ГДК деяких речовин.

Таблиця 4.1

ГДК речовин

Речовина	Дизельне паливо (пари)	Оксид вуглецю CO ₂	Пил (сажа)
Концентрація ГДК, мг/м ³	300	20	10

Параметри повітряного середовища, що нормуються, в приміщеннях МВ для морських судів згідно СН-2498-81 наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2

Параметри повітряної середи в приміщеннях МВ

Пора року	Температура повітря, С ⁰	Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря, м/с
Літній період в північних та помірних районах: - приміщення МВ з теплового випромінювання на робочих місцях - ізольовані пости керування	до 25 20-23	40-70 40-60	1-1,5 0,2-0,5
Літній період в південних районах та тропіках: - приміщення МВ з теплового випромінювання на робочих місцях - ізольовані пости керування	25-28 22-28	40-60 40-60	1-1,5 0,5-1,0
Зимній період: - приміщення МВ з теплового випромінювання на робочих місцях - ізольовані пости керування	не нижче 12 22	- 40-60	1,5 0,5-1,0

					ПННІ НУК 131.61.22.06 ПЗ	Лист
						59
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Система освітлення

Система освітлення призначена забезпечити приміщення МВ необхідною кількістю світла для обслуговування обладнання при пусках, роботі, технічному обслуговуванні та ремонті.

Норми освітленості на річкових та морських судах згідно СН-2498-81 представлені в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3

Норми освітленості на судах

Приміщення, робоче місце	Робоча поверхня	Площина, в якій нормується освітлення	Мінімальна освітленість	
			Лампи люмінесцентні	Лампи накаливання
МВ приміщення допоміжних машин, розподільних щитів	- на палубі	горизонтальна	100	500
	- шкали приборів	вертикальна	500	300
	- сходи трапів	вертикальна	500	300
Котельне приміщення	- на палубі	горизонтальна	75	30
	- шкали приборів	вертикальна	300	200

Під пайолами в МВ передбачена установка стаціонарних світильників водозахисного виконання типу СС-328 з живленням від мережі основного освітлення через трансформатор напругою 220/24 В.

Пожежобезпечність

Всі приміщення МВ обладнуються стаціонарними системами пожежогасіння. Згідно з правилами морського Регістру в доповненні до водопожежної системи на судні встановлюються системи: піногасіння та вуглекислотного гасіння.

Система водяного пожежогасіння забезпечується для подачі води до пожежних різків та до переносних пінних установок. Обслуговується двома пожежними електронасосами типу НЦВ 63/80. Насоси розташовані: один в машинному відділенні, а другий в насосному відділенні. Для аварійних цілей в приміщенні насосів холодильних машин встановлюється аварійний пожежний насос НЦВ 40/80. пожежна система виконується у вигляді лінійно-кільцевої схеми. Пожежні ріжки розташовуються з розрахунку подачі не менш двох

					ПННІ НУК 131.61.22.06 ПЗ	Лист
						60
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

струменів води до будь якого можливого осередка пожежі. Діаметр пожежних ріжків та шлангів -50мм для внутрішніх приміщень та 65мм для МВ, відкритих палуб та приміщення насосів.

Для гасіння пожеж, паливо-мастильних та твердих матеріалів використовуються судові переносні пінні установки типу УСПП-100 в кількості 4 штук та розташовуються в МВ, приміщенні АДГ, приміщенні печі СП-10. Системою об'ємного хімічного гасіння обладнані приміщення печі СП-10, МВ, а також газовихлоп ГД, димохід печі СП-10 та глушники дизель-генераторів. Система вуглекислотного пожежогасіння використовується для гасіння пожеж в приміщеннях аварійного дизель-генератора та малярної. Система складається з вуглекислотної станції ПО-51 та трубопроводів з розпилювачами в захищаних приміщеннях. Запас вуглекислоти розташований в приміщенні вуглекислотної станції ПО-51. Пуск системи в дію - ручний на самій станції.

Електробезпека на даному судні відповідає правилам по захисту від статичного електричного струму на морських судах. Підключення генераторів до шин ГРЩ та захист їх від токів короткого замикання та мінімальна напруга з витримкою часу здійснюється селективними автоматичними вимикачами типу ВА-74 обладнані моторними приладами. Складальні шини ГРЩ з'єднуються між собою селективними автоматичними вимикачами.

В судових умовах заземлення – електричні з'єднання заземлюючого пристрою з'єднують з металічним корпусом судна. Захисне заземлення зменшує небезпечність ураження людини током при контакті з неізолюованою ділянкою мережі і металічними частинами електричних пристроїв, які опинились під напругою. Такими частинами є корпуси та захисні кожуха електротехнічних пристроїв з порушеною ізоляцією. На даному судні всі металічні корпуси електричних машин та апаратів, які працюють при напрузі більш 30В електрично з'єднуються з корпусом судна за допомогою заземляючі перемичок з міді та латуні. Також можливе заземлення корпуси судна на берегові заземлюючі пристрої.

					ПННІ НУК 131.61.22.06 ПЗ	Лист
						61
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.2 Заходи по зниженню рівня шуму та зменшення вібрації в машинному відділенні

Шум – це сукупність звуків різної інтенсивності та частоти, які хаотично змінюються в часу. Шум оказує шкідливий вплив не тільки на органи слуху, але й на весь організм людини в цілому.

На даному судні зниження рівня шуму головного двигуна досягається установкою на випускному тракті утилізаційного парогенератора, працюючого як глушник, а на випускних трактах дизель – генераторів устанавлиються глушники – іскрогасники. Також передбачене облицювання МВ звукопоглинаючими матеріалами. Допоміжні дизель – генератори та механізми устанавлиються на амортизаторах.

В системах трубопроводів устанавлиються компенсатори та гнучкі металічні шланги. Вахта несеться в звукоізолюваному ЦПУ. Використовуються також індивідуальні засоби захисту: вушні вкладки, навушники. Вушні вкладки забезпечують послаблення звуку до 20Дб, навушники – до 30Дб, вкладки з навушниками – до 35Дб.

Вібрація – це механічні коливання матеріальних частин тіл та поверхонь. Вібрація погіршує самопочуття працюючого та часто приводить до важкого захворювання – віброхвороби.

Головним джерелом вібрації є головний та допоміжний двигуни, механізми та обладнання, які обслуговують СЕУ та функціональні системи, гребний гвинт, вібрація корпусу судна, а також удари криги та хвиль о корпус судна.

Гранично допустимі рівні шуму в судових приміщеннях згідно СН-2498-81 представлені в таблиці 4.4.

Санітарні норми шуму.

Таблиця 4.4

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

					ПННІ НУК 131.61.22.06 ПЗ				Лист
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					62

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

В МВ даного судна для зменшення вібрації ретельно дотримувались монтажні зазори в механізмах, ретельне центрування приводних механізмів, установка на двигунах гасників крутильних коливань, установка допоміжних двигунів на спеціальні амортизатори. Передбачено також несіння вахти в ізольованому ЦПК.

Також оптимально підібрані зазори між гвинтом та корпусом судна, кількість лопатей гребного гвинта.

Рівні зовнішнього шуму проектного двигуна визначається по формулі:

$$L = \left[54 + 10 \lg(n_n \cdot P_e^{0,55}) + 30 \lg\left(\frac{n}{n_n}\right) \right], \text{дБ}$$

де n_n - номінальна частота обертання колінчастого валу, хв^{-1} ;

n - робоча частота обертання колінчастого валу, хв^{-1} ;

P_e - номінальна потужність, кВт.

$$L = \left[54 + 10 \cdot \lg(500 \cdot 350^{0,55}) + 30 \lg\left(\frac{500}{500}\right) \right] = 94,9 \text{дБ}$$

Рівень вібрації для двигуна 6ЧН25/34 визначається по формулі:

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

де $m = 10400$ кг- маса двигуна.

					ПННІ НУК 131.61.22.06 ПЗ	Лист
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

$$L = 44 + 10 \lg \left(\frac{500 \cdot 350^{0.55} \cdot \left(\frac{1+350}{10400} \right)}{1 + \left(\frac{1}{1500} \right)^3 \cdot \frac{10400}{350}} \right) + 30 \lg \left(\frac{500}{500} \right) = 70,3 \text{ дБ}$$

4.3 Розробка та розрахунок пристроїв, які запобігають вибухам в картері

В практиці використання ДВЗ відомі випадки вибухів парів масла в картерах двигунів, які приводять до поломки двигунів так і до людських жертв. В зв'язку з цим необхідний захист картерів двигунів від вибухів.

В наслідок спінювання масла яке проходить всередині картера при працюючому двигуні та підвищеній температурі, утворюється парова суміш масла з повітрям. Порожнина картера заповнюється цією сумішшю, концентрація якої непостійна та змінюється в широкому діапазоні. При появі в картері джерела пожежі, яке викликається порушенням в роботі поршня, поршневих кілець або втулки робочого циліндру, утворюється інтенсивне випаровування масла поблизу його, концентрація парів збільшується та при сприятливих умовах може статися вибух в картері.

Вибухонебезпечність парів масла залежить від поверхні картера, тиску температури, розмірів часток масла, концентрації масла в повітрі та турбулентності середовища. При спалахуванні суміші повітря та масла проходить швидке згорання, тиск в картері росте по адіабатичному закону та виникає вибух. Якщо закриття люків не забезпечує достатньою герметичністю та міцністю, то вони розрушаються. Після підвищення тиску в картері в наслідок вибуху, проходить часткове розрідження, яке спонукає до потрапляння повітря в картер та утворенню більш потужного вибуху. Але в деяких випадках повторного вибуху може не бути.

Швидкість розповсюдження вибухового полум'я повздовж картера при детонації досягає 300 м/с та вище при більш високих тисках. При цьому можуть виникнути тріщини в картері, руйнування люків. В даному випадку вибух може

					ПННІ НУК 131.61.22.06 ПЗ	Лист
						64
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

бути переданий сусідньому дизелю, виникає небезпечність пожежу в МВ.

Заходами захисту від вибухів є:

- недопущення умов виникнення вибуху;
- зняття надлишкового тиску при вибуху;
- недопущення притоку повітря в картер після вибуху та попередження повторного вибуху.

В даному двигуні використовуються всі перераховані способи захисту. Регістр вимагає щоб картер та знімні кришки люків були закріплені таким чином, щоб виключити можливість їх зміщення в разі вибуху. Вентиляція картера, а також пристрої, які могли б спонукати приплив зовнішнього повітря в картер не припустимі. Згідно вимогам реєстра на двигун з діаметром циліндрів 250мм та вище необхідно установлювати по одному запобіжному клапану навпроти кожного мотиля. Крім того окремі простори клапану, таких як приводний відсік розподільного валу та йому подібні, повний об'єм якого перевищує 0,6м повинні бути обладнані додатковими запобіжними клапанами. Сумарна площа прохідних перетинів запобіжних клапанів картера повинна бути не менш 115 см на кожен м повного об'єму картера.

Запобіжні клапани повинні бути схвалені Регістром. За конструкцією клапани повинні відповідати наступним вимогам:

- забезпечення моментального відкриття клапанів при підвищенні тиску в картері не більш чим на 0,02Мпа від припустимого;
- швидке закриття, яке виключає потрапляння повітря в картер.

Клапан автоматичний з тарілкою, насаджений на стрижень з зворотньою пружиною. Герметичність досягається притиранням сідла клапана до ущільнювального кільця на картері. Після тиску пружина притискає клапан до ущільнювального кільця, створюючи таким чином герметичне ущільнення.

					ПННІ НУК 131.61.22.06 ПЗ	Лист
						65
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.4 Охорона навколишнього середовища

Охорона природи в нашій країні – важлива справа. Проблема захисту навколишнього середовища від забруднюючих відходів промисловості і транспорту з кожним роком набуває все більше значення, погрожуюча перетворитися в екологічну катастрофу для нашої планети. Рішення такої проблеми носить комплексний характер і жоден джерело зараження не повинно залишитися без уваги.

На рівні держави прийнято багато рішень по розробці в здійснення заходів по охороні навколишнього середовища, раціонального використання і відтворення природних ресурсів.

Судна і їх енергетичні установки являються значними джерелами забруднення навколишнього середовища. Через великий ріст кількості флоту, його вплив на навколишнє середовище в межах концентрації судів(порти, протока). Джерелом забруднення на судах являються відпрацьовані гази двигуна внутрішнього згорання і парогенераторів, скиди палива, масла, і баластних вод, відходи після очищення танків, теплова, радіаційне випромінювання, відходи реактора.

Завдання зберегти навколишнє середовище складається у неперевищенні допустимого рівня забруднення шляхом створення системи, працюючих по замкнутому циклу і дозволяючих утилізувати загальну масу відходів, а також очисткою і зниженням токсичності викидів які потрапляють у біосферу.

4.5 Вимоги нормативних документів

Проблема попередження забруднення вод морів і океанів в результаті судноходства може бути вирішена шляхом досягнення діючих і строго контролюємих міжнародних погоджень. В 1954 проходила Міжнародна конференція морських держав. Результатом її роботи являється створення

					ПННІ НУК 131.61.22.06 ПЗ	Лист
						66
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

міжнародної конвенції – першого документа, який встановив норми і вимоги, направлені на охорону водяного басейну планети від нафтових забруднень. В подальшому приймалися різні поправки усилювали вимоги до захисту моря.

Основні вимоги:

- забороняти скидання в море нафти і нафтових продуктів, вод з складом нафти більше 15 частини на 1;
- забороняється злив в море залишків після очистки пального і мастила;
- розробити вимоги до охорони відходів хімічних і радіаційних;
- стоки від санітарного обладнання повинні бути очищені і знезаражені перед зливом за борт.

Перечисленні вище вимоги і багато інших повинні звести до мінімуму чи попередити забруднення акваторію світового океану.

4.6 Шкідливі викиди дизелів і шляхи їх зменшення

Розвиток дизелебудування стає неможливим без врахування загального стану біосфери землі.

В процесі роботи дизеля виділяється з відпрацьованими газами токсичні речовини, створюється високий рівень шуму, забруднення ґрунту, водоймищ внаслідок змиву і проливів паливо-мастильних матеріалів. Присутність оксидів азоту і сірки, оксиди вуглецю, альдегідів – попередження токсичності газів. Димність газів в результаті присутності сажі, тобто неповно насичених окислених вуглеців, погіршують прозорість повітря.

Викиди діляться на дві групи:

1 група – дуже токсичні (бензопирін і інші).

2 група – токсичні. До них відносяться оксиди азоту NO_x і інші. Допускається кількість оксидів азоту залежить від питомого ефективного розходу пального.

При b_e до 214 г/кВт×год, NO_x – не більш 29 г/кВт×год.

					ПННІ НУК 131.61.22.06 ПЗ	Лист
						67
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При b_e от 214 г/кВт×год, до 268 г/кВт×год – не більше 14 г/кВт×год.

3 група – слаботоксичні(CO).

При роботі двигуна на режимах з середнім ефективним тиском 0,3 МПа з питомою викидом окисі вуглецю CO не повинно перевищувати 10 г/кВт×год.

Суттєві шляхи зменшення димності і токсичності відпрацьованих газів:

- регулювання кута випередження впорскування;
- удосконалення робочих процесі і сумішоутворення. Вдосконалення сумішоутворення зменшує викиди CO в межах «багатих» сумішей, але можемо дещо збільшити концентрацію NO_x на «бідних» сумішах;
- рециркуляція відпрацьованих газів;
- якісний склад пального і мастила;
- конструктивні зміни.

4.7 Попередження забруднення моря нафтопродуктами та стічними водами.

На розглянутому судні проведені операції для попередженню забруднення моря нафтопродуктами, стічними водами, побутовим сміттям, експлуатаційними і іншими відходами.

Приймання паливно-мастильних матеріалів на судно і видалення їх з судна передбачено через розташований на верхній палубі станцію прийому пального і мастила, яка запобігає проливу їх за борт при виконанні цих операцій. Злив добових нафтопродуктів із приймальної станції передбачений в цистерну нафтозалишків. Для передбачення викидів пального із цистерни через повітряні трубки при прийнятті його на судно у системі прийняття передбачені переливні та перенаповнюючі труби. Збір нафтовмісних трюмних вод передбачено за допомогою насосів в спеціальні цистерни трюмних вод загальною ємкістю близько 18м³, передбачені для видачу цих вод тільки на березі чи в плаваючі ємкості через з'єднання з фланцями міжнародного зразка.

					ПННІ НУК 131.61.22.06 ПЗ	Лист
						68
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для попередження забруднення моря стічними водами передбачена обладнання системи установка типу ЭОС-5 пропускна здатність 5 м³/доба, яка забезпечує знезараження стоків шляхом електрохімічної обробки.

Обладнання розташоване у відокремленому приміщенні в трюмі. В це обладнання надходять усі стічні води і знезаражені автоматично зливаються в судову систему відпрацьованих стічних вод.

Видалений в установках ЭОС-5 шлам в кількості якого 2% від усіх відпрацьованих вод скидається в спеціальну цистерну шламу на протязі усієї автономності судна.

Осушення цистерни відбувається за допомогою ежектора – змішувача, який працює на забортній воді від пожежної магістралі, при цьому концентрація хлору в знезараженій воді знижується до допустимої концентрації, яка нешкідлива для забортного простору.

Запобігання забруднення моря побутовим сміттям, експлуатаційними та побутовими відходами.

Для спалювання накопиченого на протязі доби сміття на судні передбачена установка інснератора (пічі) СП-10, робота якого при цьому припускається 1-2 рази в добу. Контейнер для золи розташовують у приміщенні інснератора, останні контейнери - на палубі надстройки 1-го ярусу. В інснераторі передумовлюється спалювання експлуатаційних відходів енергетичної установки – брудної ветоші, для збору якої в МО і майстерні передбачено розташування скринь, місткістю 16 дм².

Висновок по розділу 4

В ході виконання даного розділу дипломної роботи було проведено аналіз небезпечних та шкідливих факторів які виникають при роботі двигуна. Було встановлено, що при роботі газового двигуна у складі ВГ помітна незначна концентрація CO, CO₂ та C_nH_m. Виняток становлять режими малих навантажень, коли зниження швидкості згоряння збіднілої суміші приводить до неповного згоряння

					ПННІ НУК 131.61.22.06 ПЗ	Лист
						69
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

і збільшення викиду неспаленого метану. До недоліків застосування природного газу як палива для двигунів треба віднести також досить високий викид. NO_x на максимальних навантаженнях.

Крім того небезпеку для людини створюють нагріті деталі двигуна, а також деталі, що рухаються і обертаються.

Також зроблено огляд техніки безпеки та протипожежного захисту при експлуатації двигуна. Розраховано рівень шуму, який складає 95,5 дБ та рівень вібрації двигуна, який складає 85,62 дБ. Було запропоновано заходи, щодо зниження рівня шуму та вібрації при роботі двигуна. Ми рекомендували заходи для зниження токсичності відпрацьованих газів та захисту навколишнього середовища.

					ПННІ НУК 131.61.22.06 ПЗ	Лист
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

ВИСНОВКИ

Згідно з завданням на кваліфікаційну роботу виконана пояснювальна записка з необхідним описанням та розрахунками по дизельному двигуну 6ЧН 25/34, та конструкторською частиною проекту загальною кількістю 8 аркушів формату А1

На початку дипломного проекту по заданим вихідним параметрам двигуна ($N=350\text{кВт}$, $n=500\text{об/хв}$) визначений двигун – прототип 6ЧН 26/34 та проведені розрахунки параметрів робочого циклу.

По результатам розрахунків побудовані індикаторна діаграма дійсного робочого циклу і діаграми сил, що діють на деталі КШМ, величини яких визначені в динамічному розрахунку двигуна.

Знайдена в розрахунку робочого циклу дизеля величина максимального тиску згоряння дозволила виконати перевіірочні розрахунки на міцність деталей двигуна – форсунки, паливного насоса високого тиску. Результати розрахунків свідчать про достатній рівень запасу міцності в цих деталях.

Основною частиною дипломного проекту є розробка та розрахунок системи підготовки важкого палива. В цьому розділі визначені основні геометричні параметри підігрівача важкого палива та трубопровода подачі палива.

Розробка технологічного процесу виконана для складання форсунки.

Зважаючи на те, що розроблений дизель - генератор є значним джерелом шуму і вібрації, значну частину дипломного проекту відведено для розробки заходів по зменшенню негативного впливу його роботи на обслуговуючий персонал і на навколишнє середовище. Серед цих заходів слід відмітити захист людей від підвищеної температури випускного колектору двигуна, шляхом їх ізоляції; зменшення аеродинамічного шуму за рахунок застосування фільтра – глушника на вході в компресор ТК, глушника – іскрогасника на випускному трубопроводі.

					ПННІ НУК 131.61.22.06 ПЗ	Лист
						71
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЛІТЕРАТУРА

1. Марков С. В. Нефтяные топлива энергетических установок морских судов / С.В. Марков, Н. Л. Троеглазова. – Новороссийск : НГМА, 2004. – 122 с..
2. Sagin S.V. Cavitation Treatment of High-Viscosity Marine Fuels for Medium-Speed Diesel Engines / S.V. Sagin, V. G. Solodovnikov // Modern Applied Science; Published by Canadian Center of Science and Education, Vol. 9, № 5. – 2015. – P. 269-278. DOI: 10.5539/mas.v9n5p269
3. Zabloysky Yu. V. Maintaining Boundary and Hydrodynamic Lubrication Modes in Operating High-pressure Fuel Injection Pumps of Marine Diesel Engines / Yu. V. Zabloysky, S. V. Sagin // Indian Journal of Science and Technology. – 2016. – Vol 9(20). – P. 208-216. DOI: 10.17485/ijst/2016/v9i20/94490.
4. Доценко С. М., Бельський Ф. В. Григоренко В. О. Методичні вказівки до виконання розрахунку робочого процесу газового двигуна з дисципліни «Теорія двигунів внутрішнього згоряння». - Первомайськ: ППП – 36 с.
5. Теория двигателей внутреннего сгорания. Рабочие процессы. Под ред. Н.Х. Дяченко. «Машиностроение» Л., 1974
6. Абрамчук Ф.И., Марченко А.П., Разлейцев Н.Ф., Третьак Е.И., Шеховцов А.Ф., Шокотов Н.К. «Современные дизели: повышение топливной экономичности и длительной прочности», К.: Техника, 1992.
7. Балабанов А.Н. Короткий справочник технолога машиностроителя. – М.: Издательство стандартов, 1992.
8. Вешкельский С.А. «Справочник моториста установок с ДВС». Ленинград.: «Машиностроение», 1985.
9. Голубченко Г.А. «Розрахунок рівня шуму в суднових приміщеннях».
10. «Дизель-генератор ДГА-800 Руководство по эксплуатации». Машиностроительный завод «Первомайскдизельмаш» Украина, г. Первомайск, Николаевской обл. 1999.

					ПННІ НУК 131.61.22.06 ПЗ	Лист
						72
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		